

Kimi Ylipelto

## **VESIJÄYSTEENPOISTOMENETELMÄN KEHITTÄMINEN**

# **VESIJÄYSTEENPOISTOMENETELMÄN KEHITTÄMINEN**

Kimi Ylipelto  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotanto ja logistiikka

---

Tekijä: Kimi Ylipelto

Opinnäytetyön nimi: Vesijäysteenpoistomenetelmän kehittäminen

Työn ohjaajat: Sami Seppänen (Komas) Ismo Luttinen (Komas) Matti Broström (OAMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016

Sivumäärä: 49 + 3 liite

---

Opinnäytetyö tehtiin Komas Oy:n koneistusyksikön hydraulilaattojen valmistussolun käyttöön. Suomessa koneistetaan hydraulilaattoja, jotka viimeistellään poistamalla koneistuksessa syntynyt jäyste. Jäysteellä tarkoitetaan kappaleen valmistuksessa syntyneitä ei-haluttuja materiaaliomuodotumia. Laattojen valmistuskapasiteetti on kasvanut huomattavasti uuden koneistuskeskuksen myötä, eikä viimeistely pysy koneen tahdissa. Työssä kehitettiin uusi jäysteenpoistomenetelmä, joka pystyy poistamaan tuotteista jäysteet.

Työssä perehdyttiin jäysteen syntymiseen ja eri menetelmiin, joilla jäystettä poistetaan. Työssä esitetään manuaalinen, robotisoitu, terminen sekä vesikäyttöinen jäysteenpoistomenetelmä. Menetelmiä vertailtiin niiden sopivuuden selvittämiseksi ja näistä vertailutuloksista päädyttiin kehittämään vesikäyttöinen jäysteenpoistolaite. Laite poistaa jäysteen käyttämällä korkeapaineista vettä. Veden aiheuttama törmäysvoima katkaisee jäysteen. Kun menetelmä oli valittu, sitä aloitettiin tutkimaan tarkemmin. Selvitettiin, mitä laite vaatii toimiakseen, kuten tarvittava paine, virtausnopeus ja käytettävät suuttimet. Työssä selvitettiin myös, mitä laitteistoa rakentaminen vaatii, kuten pumpausjärjestelmä, venttiilit ja ohjausjärjestelmä.

Tutkimusten edetessä menetelmän sopivuutta testattiin kolmella testillä. Ensimmäinen testi oli lyijykynätesti, joka perustuu lyijyn murtolujuuteen. Jos lyijyillä pystyy katkaisemaan jäysteen, veden voima riittää jäysteenpoistamiseen. Toinen testi järjestettiin yritys Lassila & Tikanojan kanssa. Testeissä käytettiin korkeapainevesilaitteistoa ja erilaisia suuttimia, joilla kappaleet puhdistettiin. Tulokset vahvistivat lyijykynätestien tuloksia. Kolmannessa testissä koe-erä lähetettiin Saksaan, jossa kappaleet puhdistettiin käyttämällä robotisoitua korkeapainevesilaitteistoa. Testin avulla saatiin täysi varmuus siitä, miten vesi soveltuu jäysteenpoistamiseen.

Lopputuloksena yritykselle luotiin toteutussuunnitelma, josta selviää, mitä laitteistoa rakentamiseen tarvitaan ja kuinka paljon rakentaminen maksaa. Toteutussuunnitelmasta selviää myös, mitä yritys hyötyy laitteesta ja kuinka paljon se nopeuttaa viimeistelyn toimintaa ja laatua.

---

Asiasanat: jäysteenpoisto, robotisointi, korkeapainepeseminen, suunnittelu

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering: Production and logistics

---

Author(s): Kimi Ylipelto

Title of thesis: Designing a high pressure water deburring unit

Supervisor(s): Sami Seppänen (Komas Oy) Ismo Luttinen (Komas Oy), Matti Broström (Oamk)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016 Pages: 49 + 3 appendices

---

The thesis was commissioned by Komas Oy. Komas Oy had a deburring problem at their hydraulic manifold manufacturing unit. They had bought a new machining center for manifold production, and the production rate had increased radically. Therefore, the manual deburring unit could not follow the machine's production rate and it formed a bottleneck in the production. The objective of the thesis was to design a high pressure water deburring unit to solve their deburring problem. The work started by getting to know the deburring methods and understanding why burrs are formed.

At the beginning of the project the current state of the machining centre was mapped. The mapping showed where the problem is and how it can be improved and which the critical points on finishing the products are.

At first, the water deburring method was tested. The testing was executed in three steps: Firstly, by led pencil test, secondly, by a water deburring method test using hand lances and 500 bar pressure and the third test took place in facility in Germany which used robotical high pressure water deburring. While waiting for the last test results, the planning started.

The First step was to find out what water deburring is and how it works. When the right parameters were found, it helped to find the right pumps and accessories like nozzles. Water deburring is based on the impact force which is a result of the pressure, flow rate and nozzle diameter. The nozzles and the pump are the most important parts for the machine. The pump produces the pressure and flow, and the nozzles change the water to a burr-cutting tool.

When the water hydraulic unit was found, the mechanical planning started. In this phase the appropriate robot, gripper, conveyor, material handling and drying method for the products were designed and the right component manufactures were found.

As a result, Komas got an implementation plan where it is mentioned what building the machine requires, how much it costs and how it improves their production. Also, the investment payback time is calculated and the unit is modelled as a 3D model.

---

Keywords: deburring, high pressure water jetting, robot, design, water hydraulics

## ALKULAUSE

Tämä insinöörityö on tehty kevään 2016 aikana Jyväskylässä Komas Oy:lle. Komas Oy:n ohjaajana toimi projektin alussa laatupäällikkönä toimiva Sami Seppänen, joka vaihtoi kevään kuluessa työpaikkaa, ja ohjaajaksi vaihtui tuotantopäällikkö Ismo Luttinen. Ohjaavana opettaja toimi lehtori Matti Broström. Haluan kiittää projektin ohjaajia, joilta sain tarvittaessa tukea päätösten tekemiseen ja ideoiden kehittämisessä.

Oulussa 1.5.2016

Kimi Ylipelto

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn lähtökohta ja haasteet	8
1.2 Työn tavoitteet	8
2 KOMAS OY	9
3 JÄYSTEENPOISTO	10
3.1 Jäysteestä aiheutuvat ongelmat	10
3.2 Jäysteenpoistomenetelmät	11
3.2.1 Manuaalinen jäysteenpoisto	11
3.2.2 Robotisoitu jäysteenpoisto	13
3.2.3 Terminen jäysteenpoisto (TEM)	13
3.3 HPWD (High pressure water jet deburring)	14
4 VESITYÖSTÄMINEN TEOLLISUUDESSA	15
5 VESIHIDRAULIIKKA	16
5.1 Vesihiidrauliikan edut	16
5.2 Komponentit	16
5.3 Pumppu	17
6 VESI JÄYSTEENPOISTON TYÖKALUNA	18
7 JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET	19
7.1 Pumppu	19
7.2 Suuttimet	19
8 ROBOTISOINTI	20
8.1 Teollisuusrobotit	20
8.2 Robotin tarraimet ja työkalut	21
8.3 Kuljettimet	22
9 PROJEKTIN TOTEUTUS	24
9.1 Lähtötilanteen selvitys	24
9.2 Työpisteen työvaiheet	26

10 MENETELMÄN TESTAUS	27
10.1 Lyijykynätesti	27
10.2 Korkeapainepesurin testaus	27
10.3 Jäysteenpoistotesti Saksassa	29
11 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	30
11.1.1 Pumppausjärjestelmä	30
11.1.2 Vedenkiertojärjestelmä	31
11.2 Pesujärjestelmä	31
11.3 Laitteiston ohjaus	32
11.4 Robottisolun suunnitleminen	34
11.5 Tarttujan suunnitleminen	36
11.6 Kääntöpöydän suunnittelu	38
11.7 Kuljettimen suunnittelu	38
11.8 Kappaleiden kuivaus	39
11.9 Laitetilan lay-out	39
12 SUUNNITeltu TYÖSOLU	41
13 TOTEUTUSSUUNNITELMA	43
13.1 Budjetti	43
13.2 Saavutetut hyödyt	43
13.3 Investoinnin kannattavuus	43
13.4 Jatkokehitysmahdollisuudet	44
14 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	47
LIITTEET	
Liite 1 Työvaiheen kellotukset	
Liite 2 Työvaiheen kustannukset	
Liite 3 Kokonaisbudjetti	

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan jäysteenpoistorobotti, jonka työstövoimana toimii korkeapaineistettu vesi. Käytettävän menetelmän tehokkuus perustuu veden leikkaavaan ominaisuuteen. Työn lähtökohtana on selvittää, miten vesikäyttöinen viimeistelylaite toimii hydraulilaattojen jäysteenpoistossa. Työn tavoitteena on suunnitella laitteisto, joka pystyy toimimaan itsenäisesti operaattorin huolehtiessa laitteelle viimeisteltävät materiaalit. Jäysteenpoistolaitteiston vaatimukset kartoitetaan ja suunnitellaan järjestelmän toiminta. Toimivuuden varmistamiseksi työssä järjestetään testejä, joiden tulosten perusteella laitteiston toiminta saadaan selvitettyä sekä sen käyttämiin liittyvät ongelmat tulevat esille. Työ on tehty Jyväskylässä toimivalle Komas Oy:lle.

## 1.1 Työn lähtökohta ja haasteet

Työ sai alkunsa asiakastarpeesta. Komas Oy:n koneistusyksikön uusi tuoteperhe oli saanut aikaan pullonkaulan tuotannossa. Pullonkaulaksi oli muodostunut viimeistelypiste, jossa tuotteista poistettiin koneistuksessa syntyneet jäysteet. Tuotteen valmistuksessa käytetty CNC-työstökone pystyi tuottamaan tuotteet paljon nopeampaa kuin työntekijät pystyivät viimeistelemään.

Työn toteuttamisen haasteena ovat hydraulijärjestelmien osien korkeat laatukriteerit, joiden mukaan tuotteen pitää olla 100-prosenttisesti jäysteetön. Näihin laatukriteereihin on erittäin hankala päästä, koska tuotteet ovat monimuotoisia ja sisältävät paljon risteäviä porauksia. Porausten takia jäysteisiin ulottuminen on haastavaa eikä perinteisillä harjausroboteilla saada haluttua lopputulosta.

## 1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on suunnitella vesikäyttöinen jäysteenpoistolaitteisto, joka pystyy poistamaan hydraulilaattoihin syntyneen jäysteen. Laitteiston olisi pystyttävä toimimaan itsenäisesti siten, että se vapauttaa henkilöstö resursseja tekemään tuottavampaa työtä. Tämän takia laitteiston on oltava automatisoitu. Työssä selvitetään laitteen rakentamisen vaatimukset kuten tarvittavat komponentit, turvallisuus, kustannukset sekä osien toimittajat. Näiden tietojen pohjalta yritykselle tehdään budjettitarjous laitteen rakentamiselle sekä toimintasuunnitelma, jossa selviävät laitteiston toiminta, laitteet sekä robottisolun 3D-lay-out. Suunnitelman avulla yritys voi toteuttaa projektin, mikäli investointi on yrityksen mielestä kannattava.



## 2 KOMAS OY

Komas Oy on saanut alkunsa Valtion kivääritehtaasta, joka on perustettu vuonna 1925. Komas Oy:n nimi on vaihtunut useita kertoja ja vuonna 2002 nimi Komas Oy otettiin käyttöön. Komas keskittyy erikoisosaamista vaativien komponenttien valmistamiseen ja joustavaan palveluun. Se tarjoaa yrityksille koneistettuja komponentteja, takeita, hydraulikkaputkia sekä levyleikkeitä. Komas Oy:hyn kuuluu viisi yksikköä:

- Koneistus Jyväskylä
- Koneistus Kurikka
- Hydraulikka Jyväskylä
- Levypalvelu Laukaa
- Takomo Jyväskylä.

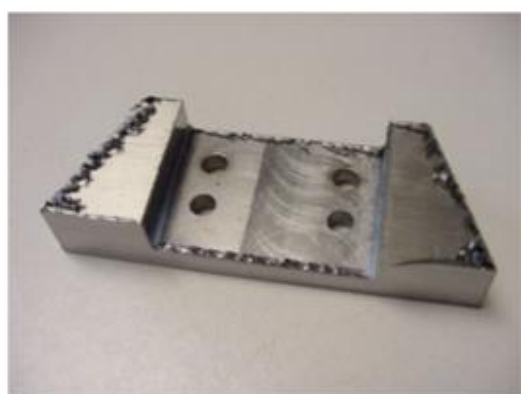
Näissä yksiköissä toimii yhteensä noin 230 työntekijää. (Kovan työn konkarit palveluksessa. 2013, 3.)

### **Koneistus Jyväskylä**

Koneistus Jyväskylä on alihankintaan keskittynyt koneistusyksikkö. Koneistusyksikön tuotteisiin kuuluvat akselit, laipat, renkaat, hammastukset, valut sekä alumiinikoneistukset ja lohkot. Tuotannon sarjakoot vaihtelevat 1–20 000 kappaleen välillä ja koot 5–2 500 mm. (Kovan työn konkarit palveluksessa. 2013, 9.)

### 3 JÄYSTEENPOISTO

Jäysteellä tarkoitetaan työkappaleen koneistuksessa syntyviä ei-toivottuja materiaalmuodostumia. Jäyste syntyy lastuavassa työstössä plastisen muodonmuutoksen yhteydessä lastun repeytyessä työstettävästä kappaleesta irti leikkaantumisen sijaan (kuva 1). Työkappaleeseen jäävä ylimääräinen osa on jäystettä. Jäyste on ylimääräinen uloke kappaleen reunassa, leikkauskohdassa tai esimerkiksi reikien ympärillä sekä porausten risteyksissä. (Niknam – Zedan – Songmene 2014, 2.)



(a) Before deburring



(b) After deburring

KUVA 1. Kappale jäysteenpoistoa ennen ja jälkeen (Niknam 2014, luku 6.3)

Jäysteen syntyminen kappaleeseen ei ole haluttua, koska siitä aiheutuu ylimääräinen työvaihe. Tämän takia on tärkeää pyrkiä minimoimaan jäysteen syntyminen. Syntyminen saadaan minimoitua ottamalla se huomioon kappaleen työstöprosessin suunnittelussa. Suunnitteluvaiheessa pitää keskittyä koneistuksen työstöratoihin, käytettäviin työkaluihin ja työstöarvoihin sekä työstöjärjestys tulee suunnitella oikein. Työstettävä materiaali pitää myös ottaa huomioon, koska se vaikuttaa edellä mainittuihin arvoihin. Vaikka työstöprosessi on huolellisesti suunniteltu, se ei ehkäise jäysteen syntymistä vaan sitä tulee muodostumaan siitä huolimatta. Huolellinen suunnittelu kuitenkin kannattaa, koska se nopeuttaa tuotteiden viimeistelyä jäysteenpoisto pisteissä. (Aurich - Dornfeld 2009, 3.)

#### 3.1 Jäysteestä aiheutuvat ongelmat

Jäysteenpoisto lisää kappaleen työstöaikaa. Kappaleen viimeistelyyn käytettävä aika ei tuo kappaleelle lisäarvoa vaan on niin sanottua hukkaa. Kappaleiden jäysteenpoiston kustannukset voivat

olla korkeat, jopa 30 % tuotteen kokonaiskustannuksista. Kuitenkin jos tuotteita ei viimeistellä kunolla, poistamaton jäyste heikentää tuotteen laatua ja voi aiheuttaa seuraavia ongelmia:

- aiheuttaa haavoja käsittelyssä
- aiheuttaa yhteensovitusongelmia kokoonpanossa
- saattaa estää mekanismien toimintaa, kuten tukkia suuttimia
- naarmuttaa pintoja ja aiheuttaa tiivistevuotoja
- aiheuttaa ominaiskitkan muutoksia
- lisää kappaleen kulumista pyörivissä tai liikkuvissa osissa
- voi aiheuttaa oikosulkuja
- käytössä irronneet jäysteet tukkivat suodattimia
- heikentää tuotteen laatua.

Kun jäysteet on huolellisesti poistettu, voidaan kappaletta käsitellä seuraavissa työvaiheissa normaalisti ilman lisäongelmia. (Gillespie 1999, 1.)

### **3.2 Jäysteenpoistomenetelmät**

Jäysteenpoistomenetelmiä on useita, joten oikean jäysteenpoistomenetelmän valinta voi olla haastavaa. Oikea jäysteenpoistomenetelmä löytyy usein kokeilemalla useita eri menetelmiä. Monia julkaisuja viimeistelystä kirjoittanut Laroux Gillespie on tunnistanut 117 eri menetelmää jäysteenpoistoon. Perinteisiksi jäysteenpoistomenetelmiksi luetaan mekaaniset menetelmät, joissa jäyste poistetaan käyttämällä harjoja tai viiloja. (Tolinski 2006.)

Seuraavassa käsitellään eri jäysteenpoistomenetelmien hyviä ja huonoja puolia. Tilaajayritys on kokeillut tai harkinnut seuraavien menetelmien käyttämistä ongelman ratkaisemiseksi.

#### **3.2.1 Manuaalinen jäysteenpoisto**

Manuaalinen jäysteenpoisto on yleisesti käsin suoritettua jäysteenpoistoa. Siinä käytetään erilaisia harjoja, viiloja sekä kalvimia, joilla vaikutetaan mekaanisesti jäystettävään kohtaan (kuva 2). Työkalut ovat useasti joko sähkö- tai paineilmakäyttöisiä. Manuaalinen jäysteenpoisto on yleisin kappaleiden viimeistelymenetelmä sen edullisuuden ja monipuolisuuden vuoksi. Manuaalinen jäysteenpoisto ei vaadi kalliita investointeja vaan työkalut ovat edullisia ja helposti saatavilla. (Sickle - Flores 1997, luku 137.4.)



*KUVA 2. Erityyppisiä pyöriviä viilaustyökaluja (Raspit 2016)*

Työvaiheena manuaalinen jäysteenpoisto on raskas, likainen, meluisa sekä yksitoikkoinen. Tämän takia se ei ole optimaalinen ratkaisu suurien sarjakokojen viimeistelyyn. Työn laatu vaihtelee, koska siihen vaikuttaa työntekijän käden jälki, joten tasalaatuisia tuotteita on hankala saada. Myöskään työturvallisuuden takia se ei ole paras vaihtoehto, koska työntekijä altistuu metallipölylle sekä työkennettäessä terävien kalvimien ja kappaleiden reunojen kanssa ovat haavat yleisiä. Työvaiheen fyysisyyden, yksitoikkoisuuden sekä likaisuuden takia työntekijöiden motivointi työhön on haastavaa, joka voi aiheuttaa laadullisia ongelmia. Huonojen puolien lisäksi manuaalinen jäysteenpoisto tarjoaa myös etuja:

- Nopea tapa poistaa jäyste yksinkertaisista kappaleista.
- Soveltuu hyvin piensarjatuotantoon.
- Menetelmä on edullinen.
- Työkalujen käytettävyys on monipuolista.
- Uuteen tuotteeseen mukautettavuus on helppoa. ( Sickle 1997, luku 137.4.)

### 3.2.2 Robotisoitu jäysteenpoisto

Jäysteenpoistossa on tällä hetkellä teollisuudessa korkea automatisointiaste. Tähän vaikuttavat viimeistely kriteerien kasvaminen sekä henkilöresurssien haluttu tehokkaampi käyttäminen. Jäysteenpoisto sitoo paljon resursseja, jotka ovat vapautettavissa automatisoinnilla. Automatisoinnilla saadaan ihmisresursseja suorittamaan yritykselle tuottavampaa työtä kuin jäysteenpoisto. Jäysteenpoistamiseen kehitetään jatkuvasti uusia tehokkaampia jäysteenpoistosoluja, (Wilson 2014, luku 4.3.4.)

Robotisoinnin etuina ovat tasainen laatu ja materiaalivirta. Robotti suorittaa sille ohjelmoidun työn tarkasti ja käyttää aina saman verran aikaa. Näiden ansioista tuotantoa on helppo ennakoida, koska vaiheaika tiedetään tarkasti. Robotti tarvitsee toimiakseen jonkin verran ihmisresursseja. Tämä johtuu pääosin materiaalin syöttämisestä, työkalujen vaihtamisesta sekä robotin ohjelmoimisesta. Nämä on otettava huomioon robotisoinnin kannattavuuden arvioimisessa. (Reunanen 2011, 22.)

Perinteinen jäysteenpoistorobotti liikuttaa joko kappaletta työkaluun tai työkalua kappaleeseen. Kummassakin tapauksessa käytettävät työkalut ovat samankaltaisia mutta menetelmän valinta johtuu työstettävästä kappaleesta. Jos kappale on raskas, on robotisointi yleensä helpompi ja edullisempi suorittaa liikuttamalla työkalua kappaleeseen. (Reunanen 2011, 22.)

Robotisoidun jäysteenpoiston etuja on resurssien vapauttaminen, ilman aikarajoitteita toimiminen, tasaisen laadun tuottaminen, työturvallisuuden sekä työolojen paraneminen. Robotisoidun jäysteenpoiston ongelmia ovat työkalujen nopea kuluminen sekä robotin vaatima apuaika. Työkalujen kuluminen johtuu robotin paikatustarkkuudesta sekä työkalun joustavuuden vähyydestä. (Reunanen 2011, 23.)

### 3.2.3 Terminen jäysteenpoisto (TEM)

Terminen jäysteenpoistomenetelmä perustuu lämmön aiheuttamaan kemialliseen reaktioon. Lämpö tuotetaan polttamalla metaania ja happea paineistetussa polttokammiossa. Kaasut sytytetään, jonka seurauksena tapahtuu räjähdys, joka kestää vain muutaman millisekunnin mutta lämpötila nousee 2500 ja 3500 celsius asteen välille ja paine jopa 400 baariin. Koska jäysteet ovat paljon pienempiä entä työstettävä kappale, ne saavuttavat hetkessä syttymispisteensä ja hapettu-

vat pois happirikkaassa ilmapiiressä. Tämä reaktio tapahtuu niin nopeasti, että räjähdys ei vahingoita työstettävää kappaletta. (Kennametal -> Products ->precision surface solutions ->deburring and machining processes ->thermal energy machining.)

Terminen jäysteenpoisto on tehokas menetelmä, joka poistaa kaikki jäysteet ja liikkuvat partikkelit sijainnista riippumatta. Tästä johtuen se soveltuu hyvin kappaleisiin, joissa on pitkiä porauksia ja kappale pitää jäystää sisäpuolelta. Terminen jäysteenpoisto soveltuu myös kovemmille materiaaleille, jolloin räjäytys kertojen määrää lisätään. (Kennametal -> Products ->precision surface solutions ->deburring and machining processes ->thermal energy machining.)

Menetelmän huono puoli on sen hinta, Terminen jäysteenpoisto uuni maksaa noin 500 000 – 600 000 €, joten se soveltuu parhaiten suuri volyymiseen tuotantoon. Menetelmä ei myöskään sovellu tuotteille, joissa on paljon herkkiä muotoja, jotka voivat vaurioitua räjähdyksessä aiheutuvasta voimasta. Terminen jäysteenpoisto vaatii myös tehokkaan pesurin, jotta palokaasut ja palojäämät saadaan pestyä tuotteista pois, tämä lisää menetelmän kustannuksia noin 200 000€. (Kennametal -> Products ->precision surface solutions ->deburring and machining processes ->thermal energy machining.)

### **3.3 HPWD (High pressure water jet deburring)**

HPWD menetelmä perustuu korkeapaineisen vesisuihkun aiheuttamaan törmäysvoimaan. Vesisuihku ammutaan pienen suuttimen läpi kappaleeseen ja törmäyksen aiheuttama voima irrottaa jäysteet ja lian kappaleesta. Työstettävään kappaleeseen kohdistetaan 35 - 70 Mpa:n vesisuihku niihin pintoihin, joista jäyste poistetaan. HPWD jäysteenpoistolla on monia etuja, joista yksi tärkein on se, että kappaleet ovat täysin puhtaita jäysteestä sekä muista jäämä aineista käsittelyn jälkeen. Menetelmä on tehokas poistamaan jäystettä myös kappaleen sisäpinnoilta ja se soveltuu parhaiten pehmeille metalleille, kuten alumiinille, valu raudalle sekä pehmeämmille materiaaleille pienemällä paineella. (Bertche 2007.)

Menetelmän huonoja puolia on se, että sen voima ei riitä katkaisemaan paksuja jäysteitä, jotka johtuvat tylsistyneistä työkalusta. Näissä tapauksissa joudutaan käyttämään harjoja ja viiloja jäysteenpoiston lisänä. (Tolinski 2006.)

## 4 VESITYÖSTÄMINEN TEOLLISUUDESSA

Vedellä on teollisuudessa monta käyttökohdetta, yleisimmät niistä liittyvät prosessiteollisuuteen mutta vedellä voi myös leikata, piikata ja puhdistaa materiaaleja. Nämä edellä mainitut menetelmät tapahtuvat eri painealueilla mutta perustuvat samaan periaatteeseen. Vesi ohjataan suuttimien läpi työstettävään kappaleeseen. Veden törmätessä kappaleeseen, sen törmäysvoima joko puhdistaa tai leikkaa kappaleen pintaa. Tätä prosessia säädetään paineella ja suuttimilla. Myös veden leikkaavaa ominaisuutta voidaan lisätä lisäämällä siihen abrasiivisia aineita. (Haastattelu Hytar Oy. 2016.)

Vedellä työstäminen tapahtuu siis eri painealueilla. Vedellä työstäminen voidaan jakaa neljään eri luokkaan:

- matalapaineiseen puhdistamiseen alle 34 MPa
- korkeapaine puhdistamiseen 34–70 MPa
- korkeapaine työstämiseen 70–170 Mpa
- ultrakorkeapaine työstämiseen yli 170 Mpa.

Yleensä teollisuudessa käytetyt matalapaineiset koneet puhdistavat kappaleista öljyn, rasvan sekä kaiken irtonaisen lian. Korkeapaine puhdistaminen irrottaa epäpuhtaudet paremmin sekä sen aiheuttama törmäysvoima on jo tarpeeksi suuri irrottaakseen epäpuhtaudet, jotka ovat vähän kiinni kappaleissa, kuten jäysteen. Korkeapaine työstäminen on esimerkiksi vesipiikkaamista, jolla pystytään kuorimaan kappaleen pinnasta esimerkiksi ruoste tai piikkaamaan betonia. Tällä painealueella myös puhdistetaan teollisuuden prosessin kattiloita ja putkistoja. Ultrakorkeapaine työstäminen on pääosin vesileikkaamista. (Water Jetting offers new solutions. 2009.)

## 5 VESIHYDRAULIIKKA

Vesihydrauliikka on hydrauliiikan laji, jossa hydraulinesteenä käytetään vettä. Ajatus veden käyttämisestä ei ole uusi, koska hydrauliiikan kehitys sai alkunsa veteen perustuvista järjestelmistä. 1900-luvulla mineraaliöljyt syrjäyttivät veden hydraulinesteenä. Tämä johtui öljyn paremmista ominaisuuksista, jotka helpottivat uusien komponenttien ja tekniikan kehittämistä. Tuohon aikaan tekninen tietämys ei pystynyt ratkaisemaan veden käytön ongelmia, koska vesi vaatii pienemmät välykset toimiakseen. (Kauranne – Kajaste – Vilenius 2013, 445.)

Viime vuosina vesihydrauliikka on kehittynyt nopeasti. Komponenttien tarjonta on lisääntynyt, joka on lisännyt veden käyttökohteita. Myös lisäaineiden ominaisuudet ovat parantuneet, jonka takia pienemmillä seoksilla saadaan tarvittava voitelu sekä bakteerien muodostumista veteen pystytään ehkäisemään tehokkaammin. (Fonselius – Rinkinen – Vilenius 1991, 173.)

### 5.1 Vesihydrauliiikan edut

Vedellä on monia etuja verrattuna hydrauliiöljyn käyttöön. Vesi on palamatonta, ympäristöystävällistä, helposti saatavilla sekä edullista. Teräs- sekä kaivosteollisuus ovat hyödyntäneet hydrauliijärjestelmissä veden palamattomuutta, koska se lisää laitosten paloturvallisuutta. Kun työskennellään kuumen teräksen parissa, on hydrauliiöljyn käyttö paloriski, joten vesi on hyvä vaihtoehto lisäämään paloturvallisuutta. (Kauranne 2016, 446.)

Veden saatavuus sekä ympäristöystävällisyys lisäävät taloudellisuutta, koska vesi ei vaadi jätteenkäsittelyä vaan se voidaan laskea viemäriin. Vesi on myös helposti saatavilla, koska järjestelmä voi käyttää hanavettä hydraulinesteenä. Tämä laskee hydraulinesteestä aiheutuneita kustannuksia huomattavasti. (Hitchcox 2012, 1.)

### 5.2 Komponentit

Vesihydrauliiikan komponentit eroavat öljyhydrauliiikan komponenteista. Tähän vaikuttaa veden pienempi viskositeetti. Pienemmän viskositeetin takia vesihydrauliijärjestelmä vaatii pienempiä välyksiä. Jos järjestelmässä käytetään öljyhydrauliiikan komponentteja, järjestelmän vuodot lisääntyisivät huomattavasti. Jotta järjestelmän vuodot saadaan vastaamaan öljyhydrauliiikka järjestelmää, on komponenttien välykset oltava noin 0,26 - 0,40 kertaa öljyhydrauliiikkaa pienemmät. Tästä joh-



tuen vesihydrauliikan komponenttien pinnanlaadun tulee olla parempi kuin öljyhydrauliikassa. Parempi pinnan laatu lisää valmistuskustannuksia, joka johtaa kalliimpiin komponentteihin. (Kauranne 2013, 446.)

Myös voitelun kannalta pienemmät väliskoot tuottavat ongelmia, koska liikkuvissa osissa lämpölaajeneminen voi pienentää välystä edelleen. Tästä seuraa osien nopea kuluminen. (Kauranne 2013, 446.)

Näistä johtuen vesihydrauliikassa käytetään pääosin istukkarakenteisia venttiilejä. Venttiilityyppien vähäinen saatavuus vaikeuttaa järjestelmän toimintojen määrää. Monimutkaisempiin järjestelmiin yhdistetään useita 2/2- venttiileitä, jotta saadaan monipuolisempia toimintoja. Esimerkiksi käyttämällä kahta 2/2- venttiiliä voidaan toteuttaa 3/3- toiminto. (Fonselius 1995, 175.)

### **5.3 Pumppu**

Hydraulijärjestelmän sydämenä toimii pumppu. Vesihydrauliikassa käytetään joko rivimäntäpumppuja, radiaalimäntäpumppuja tai aksiaalimäntäpumppuja. Näistä yleisin on rivimäntäpumppu, jolla pystytään tuottamaan suuria paineita sekä tuottoja. Radiaalimäntäpumput ovat pääosin matalapaineisille järjestelmille, joiden paine on maksimissaan 320 bar. (Fonselius 1995, s.175)

## 6 VESI JÄYSTEENPOISTON TYÖKALUNA

HPWD (high pressure water deburring) on yksi uusimmista teollisuudelle esitetyistä jäysteenpoisto menetelmistä. Tämä menetelmä on saanut suurta suosiota autoteollisuudessa sekä muissa teollisuuden osa-alueissa, jossa tarvitaan ympäristö- ja kappaleystävällistä teknologiaa kappaleen puhdistamiseen jäysteestä, lastuista sekä muista materiaaleista kuten leikkuuöljystä. HPWD jäysteenpoistomenetelmää ei pidä sekoittaa normaaliin vesileikkuriin. Vesileikkurit toimivat huomattavasti korkeammalla painealueella (414 MPa). (Tolinski 2006.)

### Menetelmä

Vesijäysteenpoistomenetelmä perustuu korkeapaineisen vesisuihkun aiheuttamaan törmäysvoimaan. Vesisuihku ammutaan pienen suuttimen läpi kappaleeseen ja törmäyksen aiheuttama voima irrottaa jäysteet ja lian kappaleesta. Työstettävään kappaleeseen kohdistetaan 35 - 70 MPa:n vesisuihku niihin pintoihin, joista jäyste poistetaan. Törmäysvoiman suuruus on suhteessa tuotettuun vesivirtaan, paineeseen sekä suuttimen halkaisijaan. Esimerkiksi 500 baarin paine ohjattuna 0,9 mm suuttimen läpi aiheuttaa 4,7 kg voiman. HPWD jäysteenpoistolla on monia etuja, joista yksi tärkein on se, että kappaleet ovat puhtaita jäysteestä sekä muista jäämä aineista käsittelyn jälkeen. Menetelmä on tehokas poistamaan jäystettä myös kappaleen sisäpinnoilta ja se soveltuu parhaiten pehmeille metalleille, kuten alumiinille, valuraudalle sekä pehmeämmille materiaaleille pienemällä paineella. (Bertche 2009.)

Jäysteenpoistomenetelmän tehokkuus perustuu kolmeen asiaan. Tärkeimmät näistä on tuotettu paine ja vesimäärä. Vesimäärä luo tarvittavan voiman lastun katkaisemiseen. Tuotettu paine tuo riittävän kiihtyvyyden vedelle, joka lisää törmäysvoimaa. Tehokkuuteen vaikuttaa myös jäysteen koko ja tyyppi. Pieni juuriset jäysteet irtoavat helposti mutta suuret paksu juuriset jäysteet tarvitsevat enemmän voimaa ja painetta. (Knapp 2007.)

Vesijäysteenpoiston kannattavuus vaatii myös sen, että koneistuksessa syntyneet jäysteet muodostuvat samoille paikoille. Vesi on saatava kohdistettua juuri oikeaan paikkaan, jotta jäyste irtoaa. Tämä ei ole mahdollista jos lastut muodostuvat eripaikkoihin. Mikäli jäysteet muodostuvat samoihin paikkoihin on vesijäysteenpoisto tehokas viimeistely työkalu. (Knapp 2007.)

## 7 JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET

### 7.1 Pumppu

Kun jäystettä poistetaan korkeapaineistetulla vedellä, on pumppu laitteen tärkeimpiä osia. Pumpulla luodaan järjestelmään tarvittava paine, joka ohjataan putkistoa pitkin suuttimille ja suuttimet ohjaavat vesisuihkun puhdistettavalle kappaleelle. Kuten aikaisemmin on mainittu, HPWD jäysteenoisto vaatii 35 - 70 Mpa:n paineen, että jäyste saadaan poistettua sekä riittävän suuren virtausnopeuden. Pumpulta tarvittava tuotto riippuu suuttimien koosta ja määrästä. Esimerkiksi jos järjestelmässä käytetään vain yhtä 0,9 mm suutinta tuotoksi riittää 10 l/min. Toisaalta jos suuttimen kokoa nostaa tai niitä on yhtäaikaaisesti useampi käytössä, tarvitaan isompi tuotto. (Cat pumps 2012 High pressure system design guide, 3.)

Pumppu on mitoitettava näiden tietojen perusteella. Pumpun valinnassa on huomioitava myös haluttujen suuttimien määrä. Suuttimien määrä vaikuttaa pumpulla tuotettuun vesimäärään. Jos järjestelmässä on vain yksi suutin, tarvitaan pumppu, joka tuottaa 10 l/min. Käyttötarkoituksen mukaan pitää myös miettiä parhaiten soveltuva pumpputyyppe. Jäysteenoistossa tarvittavan paineen tulee olla korkea, tasainen ja helposti säädettävissä. Tähän käyttötarkoitukseen sopii parhaiten rivimäntäpumput. Paineen säätö tapahtuu joko paineensäätöventtiileillä tai laskemalla tai nostamalla pumpunkierrosnopeutta taajuusmuuntajan avulla. (Olli Pohls 2016, haastattelu.)

Mäntäpumpuissa neste siirretään imupuolelta painepuolelle mäntien edestakaisen liikkeen avulla. Imu- ja paine tapahtumaa ohjataan automaattitoimisilla venttiileillä. Pumpun tuoton tasaisuus on riippuvainen mäntien lukumäärästä. Pumpuissa käytetään paritonta määrää mäntiä, koska silloin tuottojen huiput osuvat limittäin tasaten kokonaistuottoa. (Hydrauliikkapumput. 2009.)

### 7.2 Suuttimet

Suutin on osa, joka on suunniteltu kontrolloimaan nesteen tai kaasun virtausominaisuuksia. Suuttimia käytetään yleensä ohjamaan aineen virtausnopeutta, suuntaa, massaa, muotoa tai painetta. Näitä ominaisuuksia säädellään muuttamalla suuttimen kokoa isommaksi tai pienemmäksi. (Cat pumps 2009, 6.)

## 8 ROBOTISOINTI


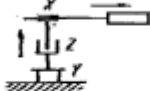


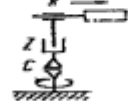





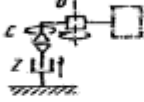


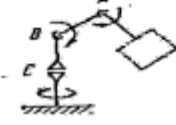

Robottiikka on 1970-luvulla yleistynyt teollisuuden työkalu, jolloin teollisuuden työvaiheita alettiin automatisoimaan. Ensimmäiset yleiset teollisuus robotit olivat hitsausrobotteja mutta nykyään robotteja käytetään monissa erilaisissa tehtävissä ja niistä on muodostunut tärkeä osa sen toimintaa. Robotteja käytetään teollisuudessa yleensä kappaleen käsittelyssä, hitsauksessa, kokoonpanossa sekä pakkaamis ja paketointi tehtävissä. (Automaatio ja robotiikka. 2009, 3.)

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. (Automaatio ja robotiikka. 2009, 5.)

### 8.1 Teollisuusrobotit

Teollisuusrobotti on määritelmän (ISO 8373) mukaan uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen, vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan eri kappaleita tai työkaluja. (Lehtinen 2006, 4) Robottien rakenteessa on useissa tapauksissa yritetty matkia ihmisen nivelten toimintaa. Robotin rakenteessa on ihmisen käsivartta, rannetta ja kouraa vastaavia nivelliikkeitä. Robotit ovat erittäin tarkkoja toistamaan liikkeitä, joten niillä saavutettu laatu on taseista. Lähes kaikkien robottien tarkkuus on  $\pm 1$  mm. Uudemmissa roboteissa tarkkuus on huomattavasti parempi, esimerkiksi kokoonpanorobotilta vaaditaan  $\pm 0.05 - 0.1$  mm asemointi tarkkuutta. (Lehtinen 2006, 2.)

Kuvassa neljä esitetään eri robottityyppien nimi, rakenne, kinemaattinen kaavio sekä työalue (kuva 4).

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatisto-robotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			

KUVA 4. Teollisuus robottien rakenteet ja työalueet (Automaatio ja robotiikka. 2009)

Näistä robottityypeistä yleisin on kiertyvänivelinen robotti. Kiertyvänivelisessä robotissa on 4 - 6 niveltä ja ne kaikki ovat nimensä mukaan kiertyviä. Robotin nivelet on kytketty peräkkäin, tästä johtuen robotin kuormankantokyky on heikko. Robotin etuja on laaja ulottuvuus ja monipuoliset liikeradat. Monipuolisten liikkeiden avulla robotti soveltuu hyvin kappaleen pyöritystä ja liikuttamista vaativiin tehtäviin tai esimerkiksi sauma hitsaukseen. (Lehtinen 2006, 4.)

Muita robotti tyyppjä käytetään kohteissa, joissa tarvitaan enemmän voimaa, liikeradat ovat yksinkertaisia tai jos tarvittavia liikeratoja on vain muutama.

## 8.2 Robotin tarraimet ja työkalut

Robotin työkalulla ja tarraimella tarkoitetaan osaa, jota robotti siirtää paikasta toiseen ja tekee halutun työn. Yleisin robotin työkalu on tarrain. Tarraimella robotti ottaa kappaleesta kiinni ja siirtää

sen haluttuun paikkaan. Muita robotin yleisimpiä työkaluja ovat hitsauspistooli, maalausruisku tai liimasuutin. (Automaatio ja robotiikka. 2009, 42.)

Tarraimien suunnittelussa on pidettävä mielessä sen soveltuvuus eri kappaleille, keveys sekä tarttuvuuden suuruus ja muodonmuutokset. Jos tarraimien ei sovellu useaan käyttökohteeseen, pitää tarraimia olla useampi. Tarraimen paino on myös tärkeä kriteeri tarraimen suunnittelussa, koska se vie aina osan robotin kuormituskapasiteetista. Esimerkiksi, jos suunnitella tarraimen, jonka paino on 2 kg ja käytät sitä pienessä robotissa jonka maksimi kuorma on 5 kg saa enää käsiteltävä kappale painaa 3 kg. (Automaatio ja robotiikka. 2009, 45.)

Tarraimen suunnittelussa on siis hyvä tietää sen käyttökohde ja ympäristö. Tästä syystä tarraimen suunnittelu on yleensä kannattavaa tehdä itse, jolloin saadaan varmuus tarraimen toimivuudesta siihen tarkoitettuun ympäristöön. Tarraimen puristusvoiman määrittämisessä tulee huomioida kappaleen paino, jota liikutetaan sekä 20- kertainen varmuuskerroin. Suuri varmuuskerroin määritetään mahdollisen törmäyksen vuoksi. Tarraimen puristusvoiman voi arvioida kertomalla kappaleen paino varmuuskertoimella ja painovoimalla. Tämä antaa tarvittavan puristusvoiman Newtonina. (AVS-Yhtiöt- Teollisuusautomaatio -> Robotiikka -> Tarttumat -> CLGN serie 2016. 3.)

Tarraimia on olemassa monta eri tyyppiä, jotka on tiedettävä tarraimen suunnittelussa. Tarraimet voidaan jaotella seuraaviin ryhmiin:

- avautuviin ja sulkeutuviin
- pneumaattisiin, hydraulisiin sekä sähköllä toimiviin
- sormimäärän mukaisiin
- magneetilla toimiviin
- alipainetarraimiin
- sisäisesti laajeneviin
- keskitettäviin tarraimiin
- monitarraimiin
- älykkäisiin tarraimiin. (Automaatio ja robotiikka. 2009 45.)

### 8.3 Kuljettimet

Kuljetin on siirtolaite, jossa massa- tai kappaleta varaa liikutetaan tuotannossa. Kuljettimilla pystytään liikuttamaan materiaalia moneen erisuuntaan. Kuljetin rata voi kaartaa, nousta sekä laskea.

Kuljetin tyyppin valinta on tehtävä kuljetettavan materiaalin sekä halutun sovelluksen mukaan. Kuljettimet voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

- hihna- ja lamellikuljettimet
- rullakuljettimet ja -radat
- ketjukuljettimet
- tärykuljettimet
- liu'ut
- muut kuljettimet.

Kuljettimet tarvitsevat syöttölaitteen, joka tuo materiaalin kuljettimelle. Syöttölaitteena voi toimia esimerkiksi syöttöruuvi, ihminen tai robotti. Syöttölaitteen tulisi pystyä syöttämään kuljetinta sen nopeuden mukaan, jotta kuljettimen kuluminen saadaan minimoitua. Kuljetin voi toimia jatkuvalla syötöllä tai se voidaan ohjelmoida toimimaan, siten että se liikuttaa tuotteita halutun verran. Tässä tapauksessa kuljettimeen on kytkettävä antureita, jotka tunnistavat materiaalin. (Salmela. 2016.)

## 9 PROJEKTIN TOTEUTUS

### 9.1 Lähtötilanteen selvitys

Työn toteutus alkoi nykytilan kuvaamisella. Nykytilan kuvaamisessa selvitettiin, miten tuotteiden jäysteenpoisto tapahtuu, mitä työkaluja siihen käytetään ja mitä menetelmiä yritys on testannut. Myös tuotantosolun toimintaan tutustuttiin, jotta saatiin muodostettua laajempi ymmärrys siitä, miten jäysteenpoisto vaikuttaa yrityksen toimintaan.

Alumiinilohkoja työstetään horisontaalisella työstökeskuksella, jossa on kuusi työstöpalettia. Työ-  
pisteessä valmistetaan viittä erityyppistä laattaa. Laattojen koneistus kestää laatasta riippuen 8-17 minuuttia/laatta. Yhden ohjelman ajo kestää tunnista kahteen tuntiin, jonka jälkeen kone alkaa työstämään seuraavaa palettia. Paletin kapasiteetti on kahdeksan laattaa.

Jäysteenpoistoa suoritetaan sinä aikana, jolloin koneistus on käynnissä. Tämä antaa operaattorille 1 - 2 tuntia jäysteenpoistolle sekä paletin täyttämiseen ja tyhjentämiseen. Jäysteenpoiston ongelmana on se, että kone on nopeampi työstämään kappaleet, entä jäysteenpoisto on. Tämän takia kappaleen viimeistelypiste on aiheuttanut pullonkaulan tuotannolle. (Kuva 5.)

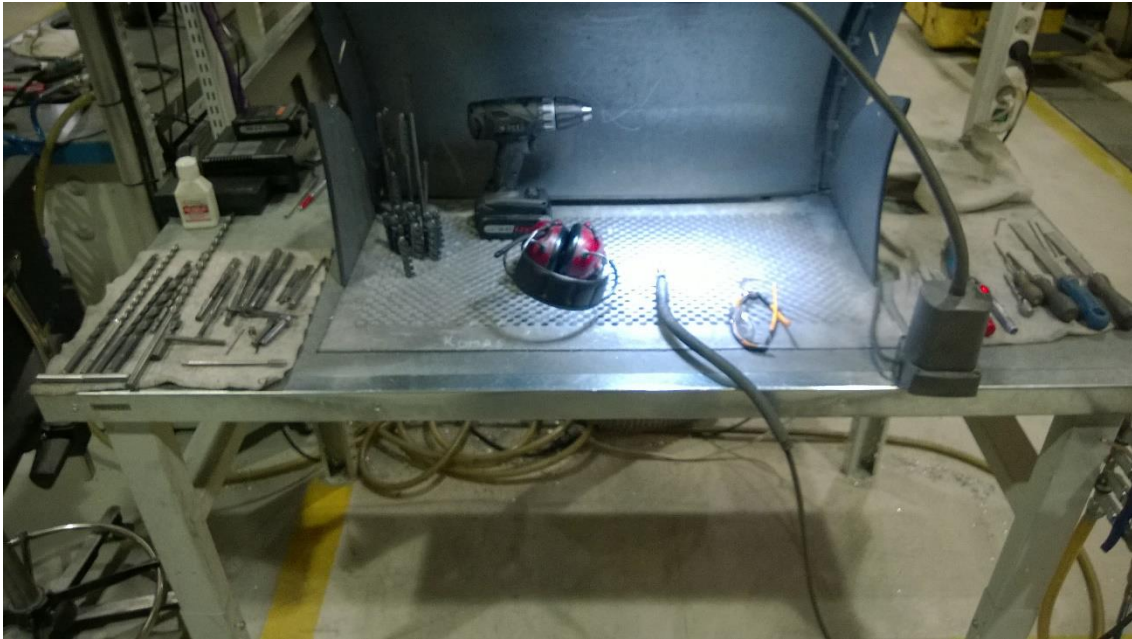


*KUVA 5. Viimeistelypisteen työjono*

Jäystepoistetaan CNC-koneen vieressä olevilla työstöpisteillä. Työstöpisteitä on olemassa kaksi, jotta viimeistelyyn voidaan tarvittaessa ottaa toinen työntekijä. Työntekijät poistavat jäysteen käyttämällä harjoja, kaavaimia, viiloja, paineilmaa sekä sähkökäyttöisiä työkaluja. Jäysteenpoisto on



haastava ja aikaa vievä työvaihe, joka pitäisi tehdä tarkasti. Jäysteenpoistossa viimeistellään tuote asiakkaan laatukriteerien mukaiseksi, jonka jälkeen kappaleet menevät pesuriin. (Kuva 6.)



KUVA 6. Viimeistelypiste

Tuotteiden jäysteenpoistaminen kelloitettiin, jotta saatiin tietoon kuinka paljon henkilöresursseja jäysteenpoisto tarvitsee ja kuinka suuri kustannus tästä aiheutuu yritykselle. Kellotuksissa otettiin aikaa siitä, kuinka kauan tuotteen viimeistely kestää. Tämä suoritettiin jokaiselle tuotteelle 10 kertaa siten, että mukaan saatiin useamman työntekijän ajat. Ajoista laskettiin keskiarvo tuotteen viimeistelylle (liite 1).

Komas Oy on kysellyt robottivalmistajilta ratkaisuja kappaleiden viimeistelyyn ja ovat kokeilleet myös itsetehtyä harjakäyttöistä jäysteenpoistorobottia, joka käyttää erilaisia työkaluja. Robotin ongelma on koitunut sisäpuolisen jäysteenpoisto. Robotti ei pysty poistamaan jäystettä kappaleiden sisäpuolelta yhtä tarkasti kuin manuaalisella menetelmällä.

Harjausrobottia käytetään kahden kappaleen viimeistelyn helpottamiseksi. Harjausrobotti lyhentää viimeistelyyn käytettävää aikaa muutamalla minuutilla sekä vähentää käsin tehdyn työn määrää. Robotin läpi menevät kappaleet vaativat kuitenkin visuaalisen tarkistuksen sekä viimeistelyn loppuun suorittamisen.

Tällä hetkellä jäysteenpoisto on aiheuttanut laadullisia ongelmia tuotantoon ja osa virheistä on mennyt asiakkaalle saakka.

## 9.2 Työpisteen työvaiheet

Laattojen valmistuspisteen eri työvaiheet myös selvitettiin, jotta saatiin parempi ymmärrys, miten tuotteet liikkuvat tehtaassa. Laattojen aihiot tulevat päävarastosta työstökoneen lähellä olevaan puskurivarastoon. Tämän jälkeen kappaleet työstetään työstökoneella 8 kappaleen erissä. Kappaleiden työstöajat vaihtelevat 60 - 100 minuutin välillä.

Kun kappaleet ovat valmistuneet, ne siirretään kuormalavalle jäysteenpoistopisteen viereen. Ennen kappaleiden siirtämistä työstökoneen palettiin lastataan uudet aihiot. Sen jälkeen työntekijä siirtyy jäysteenpoistopisteelle ja aloittaa tuotteiden viimeistelyn. Tuotteiden viimeistely keskeytyy aina, kun työstökoneen ohjelma valmistuu. Tämä vähentää viimeistelyyn käytettävissä olevaa aikaa huomattavasti.

Valmiit tuotteet lastataan settikärrylle, jonka ultrapesukoneen käyttäjä hakee ja vie sen pesukoneelle toiselle puolelle hallia. Pesukoneella laatat lastataan pesuhäkkeihin. Pesuhäkkiin mahtuu tuotteesta riippuen noin 6 laattaa. Laattojen pesuohjelma kestää 13 minuuttia. Pesun jälkeen laatat lastataan settikärryyn ja toimitetaan kokoonpanoon, jossa laatat varustellaan.

## 10 MENETELMÄN TESTAUS

### 10.1 Lyijykynätesti

Menetelmän testaaminen suoritettiin kolmessa erivaiheessa. Ensimmäinen testaus oli yksinkertainen lyijykynätesti. Testissä käytettiin 0,5 mm paksuista lyijykynää, jolla jäyste yritettiin katkaista. Jos jäyste katkeaa ennen lyijyä, veden aiheuttama voima riittää katkaisemaan jäysteen. Tämä testi perustuu lyijyn murtolujuuteen sekä veden aiheuttamaan törmäysvoimaan 500 baarilla 0,9 mm suuttimen läpi.

Kun kappaleita testattiin, jäysteitä painettiin sisään lyijykynällä ja jäyste pyrittiin katkaisemaan. Saatut tulokset olivat ristiriitaiset, osa jäysteestä irtosi ja osa ei. Tämä johtuu siitä, että osa tuotteissa esiintyvistä jäysteistä on vahva juurisia, jotka tarvitsevat enemmän voimaa katketakseen.

Lyijyn katkeaminen antaa viitteitä siitä, ettei jäyste tule irtoamaan käyttämällä 500 baarin painetta. Lisäämällä painetta näistä voidaan päästä eroon tai kappaletta joudutaan esityöstämään manuaalisesti, jotta jäyste olisi löyhemmin kiinni.

Seuraava testi järjestettiin käyttämällä Lassilan ja Tikanojan korkeapainepesuria. Testin tavoitteena oli antaa kuva, kuinka paljon jäystettä pystytään poistamaan korkeapaineistetulla vedellä.

### 10.2 Korkeapainepesurin testaus

Testin suoritusta varten valmisteltiin pesupöytä, joka kestää veden aiheuttaman voiman sekä pitää kappaleen paikoillaan. Pöytänä käytettiin vanhaa metallirunkoista pöytää, johon hitsattiin ruuvipuristin kiinni. Tällä tavoin varmistettiin testin turvallinen suorittaminen siten, että kappale ei pääse irtoamaan pöydästä.

Käsi käyttöisen korkeapainepesurin käyttö on vaarallista työtä, koska 500 bar:n paine voi vahingoittaa laitteiston käyttäjää sekä ympärillä olevia. Tästä johtuen testi sovittiin järjestettäväksi Lassilan & Tikanojan pesuhallissa ja testin suoritti heidän korkeapainepesijät.

Testissä käytettiin kahta erityyppistä suutinta, pyörivää protosuutinta sekä pistesuutinta. Protosuuttimen koko oli 1,2 mm ja pistesuuttimen koko 1,4 mm. Paine tuotettiin käyttämällä imuautoa, joka tuotti maksimissaan 700 bar:n paineen.

Paine säädettiin ensiksi 500 bar:iin ja testi aloitettiin käyttämällä protosuutinta. Heti testin alussa ilmentyi ongelma protosuuttimen käytöstä laajan pyörimisalueen vuoksi, jonka takia tähtääminen kappaleen muotoihin oli haastavaa ja suurin osa veden voimasta meni hukkaan. (Kuva 7.)



*KUVA 7. Protosuuttimen testaus*

Testeissä testattiin veden vaikutusta kolmeen eri tuotteeseen kummallakin suuttimella. Kun pistesuutin vaihdettiin käyttöön, painetta lisättiin 50 bar:a. Paineen lisäämisellä haettiin parempaa lopputulosta.

Pistesuuttimen testaamisessa myös pesuaikaa lisättiin muotoa kohden ja muodot käytiin mahdollisimman tarkasti läpi, jotta vesi osuisi jäysteeseen (kuva 8). Tämän ansiosta saatiin tarkemmat pesutulokset mutta osa jäysteestä jäi tuotteeseen kiinni. Tämä oli ennakoitavissa lyijykynä testeistä saaduista tuloksista.



*KUVA 8. Pistesuuttimen testaus*

Testien ongelmaksi muodostui veden kohdistaminen jäysteeseen. Veden aiheuttama törmäysvoima heikkenee nopeasti, joten vesisuihkun on osuttava jäysteeseen. Tämän takia on tärkeää

saada vesi kohdistettua juuri oikeaan paikkaan. Tämä onnistuu robotin käyttämisellä pesupistoolin sijasta.

### 10.3 Jäysteenpoistotesti Saksassa

Edeltävien testien epätarkkuuden vuoksi järjestettiin myös testi Saksassa yrityksessä, jossa on käytössä vesikäyttöinen jäysteenpoistolaite. Tämän testin tarkoituksena on saada absoluuttinen tulos siitä, miten jäyste saadaan poistettua, kun vesi saadaan kohdistettua jäysteeseen.

Testiä varten valmisteltiin kymmenen kappaleen erä, joka dokumentoitiin ja numeroitiin. Dokumentointi tapahtui numeroimalla kappaleet sekä poraukset. Jokainen poraus kuvattiin, jotta kaikki kappaleessa esiintyvät jäysteet saatiin dokumentoitua. Tuotteet kuvattiin vertailun helpottamiseksi, minkä ansiosta nähdään, kuinka hyvin jäysteet on poistettu tuotteista. Kuvat arkistoitiin ja numeroitiin kappale- sekä porauskohtaiseksi. (Kuva 9.)



KUVA 9. Esimerkki laattojen dokumentoinnista

Testien järjestäminen opinnäytetyön kannalta menee myöhäiseksi, joten testin tulokset jäävät epäselväksi mutta itse projektin kannalta testi kantaa oleellisen vastuun. Jos testien kappaleiden laatu ei ole halutulla tasolla, voi projektin jatkokehittäminen pysähtyä ja ongelmaan on etsittävä uusi ratkaisu.

## 11 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Ennen kuin järjestelmää aloitettiin suunnittelemaan, sen vaatimukset kartoitettiin sekä jaettiin eri osa-alueisiin, jotta suunnittelutyö helpottuisi. Suunniteltavat osa-alueet ovat pumppausjärjestelmä, veden kierrätysjärjestelmä, pesujärjestelmä, robottisolu sekä ohjausjärjestelmä.

### 11.1.1 Pumppausjärjestelmä

Järjestelmän suunnittelu aloitettiin pumppausyksiköstä. Pumppausyksikkö on jäysteenpoistolaitteen tärkein osakokonaisuus, jossa muodostetaan tarvittava paine sekä virtausnopeus jäysteenpoistamista varten. Pumppausjärjestelmä koostuu korkeapainepumpusta, syöttöpumpusta, venttiileistä, sähkömoottorista sekä taajuusmuuntajasta.

Pumppausyksiköiden toimintaperiaatteisiin perehdyttiin sekä niissä käytettäviin komponentteihin. Kartoitettiin, mitä korkeapainepumppu vaatii toimiakseen sekä, miten se on toteutettavissa. Tässä vaiheessa huomattiin, ettei pumppausyksikköä ole kannattavaa suunnitella itse vaan se on järkevintä tilata laitevalmistajalta kokonaisuudessaan. Tällä tavoin vältetään ylimääräiseltä työskentelyltä ja saadaan hyödynnettyä laitevalmistajien ammattitaitoa myös järjestelmäsuunnittelussa. Laitevalmistajilla on myös tarvittava tietotaito pumppausjärjestelmien ohjausjärjestelmän suunnitteluun.

Pumppuvalmistajien tarjontaan tutustuttiin, joiden pumppausteho on enimmillään 700 bar ja tuotto 20 - 40 l/min. Tämän jälkeen maahantuojiin otettiin yhteyttä tarjouspyynnöillä. Tarjouspyynnöissä kysyttiin tarjousta valituista pumpuista sekä selvitettiin, mitä muuta järjestelmältä vaaditaan, kuten taajuusmuuntaja- sekä logiikkaohjaus, jotta pumpun painetta ja tuottoa saadaan säädettyä (kuva 10).



KUVA 10. Taajuusmuuntaja ohjattu pumppausyksikkö (E.M.Leino 2016.)

### 11.1.2 Vedenkiertojärjestelmä

Vedenkiertojärjestelmä on kustannustehokkuuden takia tärkeä osa jäysteenpoistolaitetta. Ilman tätä järjestelmää vettä ei pystyittäisi kierrättämään ja se muodostaisi lisäkustannuksia käyttöä ajatellen. Vedenkierrätyksen tarkoitus on uudelleen käyttää pesuvesi. Kun tuotteet on jäystetty, vesi menee puhdistuskaukalon putkistolta suodattimille, josta se jatkaa matkaa säiliöön.

Veden suodatus tapahtuu vaiheittain. Ensimmäiseksi suurimmat partikkelit poistetaan pesukaukalossa olevalla ritilällä, johon tarttuu isoimmat jäysteet. Tämän jälkeen vesi menee sakkasuodattimelle, jonka pohjalle jää alumiinipartikkelit. Sakkasuotimen jälkeen vesi suodatetaan vielä kerran. Veden partikkeli koko suodatuksen jälkeen on 10 µm. Suodatuksen jälkeen, vesi ohjataan säiliöön, jonka koko on 500 litraa. Korkeapainepumpun syöttöpumppu imee veden säiliöltä ja nostaa syöttöpaineen korkeapainepumpulle sopivaksi.

Veden suodattamiseen on useita erivaihtoehtoja, kuten nauhasuodatin, sakkasuodattimet sekä automaatti suodattimet. Vesi pitää suodattaa vähintään 20 - 30 µm partikkelikokoon, jotta pumpun huoltokustannukset pysyvät matalina.

### 11.2 Pesujärjestelmä

Pesujärjestelmässä on neljä erityyppistä ja kokoista suutinta, jotka ovat kiinni pesukaukalossa. Vesi ohjataan pumpulta suuttimille paineilmaohjatuilla istukkaventtiileillä. Kun robotti ottaa kappaleen kuljettimelta ja vie sen suuttimelle, lähtee paineimpulssi ohitusventtiilille sekä suuttimen venttiilille. Ohitusventtiili sulkeutuu ja suuttimen venttiili avautuu, minkä jälkeen robotti pyörittää kappaleen suuttimella. Suutin linjoja on neljä, joiden ohjaus tapahtuu edellä mainitulla periaatteella. Järjestelmä siis ohjaa veden ohitusventtiiliin kautta säiliölle, jos jäysteenpoisto ei ole käynnissä.

Pesujärjestelmän suuttimet ovat valittu ajatellen läpimenoaikaa sekä puhdistustehoa. Pienentämällä suuttimen halkaisijaa saadaan vesisuihku kohdistettua pienemmälle alueelle ja puhdistustarkkuus parantuu. Kun suuttimen kokoa kasvattaa, saadaan suuttimen läpi virtaavaa vesimäärä kasvamaan. Lisääntyvä vesimäärä nopeuttaa puhdistusprosessia.

Myös erityyppisten suuttimien käytöllä on suuri merkitys. Käytettäessä pistesuuttimia vesi suuntautuu kohtisuoraa eteenpäin, kun taas orbitaalinen suutin levittää veden 20 asteen kulmassa. Tämän tyyppinen suutin soveltuu hyvin porausten yläosien sekä suurempien muotojen puhdistamiseen. Pitkien porausten viimeistelyyn käytetään pyörivää putken puhdistamiseen tarkoitettua suutinta,

joka työntyy porauksen sisälle ja puhdistaa porauksen reunat ampumalla vettä viistosti eteen sekä taaksepäin.

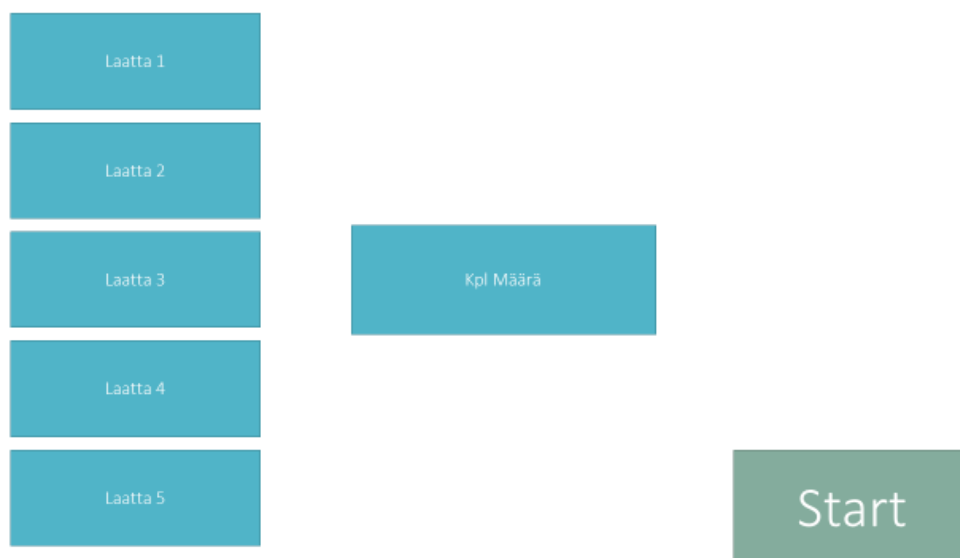
### 11.3 Laitteiston ohjaus

Laitteiston ohjaus toteutetaan logiikan, taajuusmuuntajan sekä robotin avulla. Logiikkaan ohjelmoidaan jokaiselle tuotteelle ohjelma, joka ohjaa vesihydrauliikan komponentteja. Logiikka saa toiminto käskyt robotilta, joka ilmoittaa logiikalle, minkä venttiilin se haluaa avata. Logiikka ohjaa taajuusmuuntajan avulla myös painetta. Taajuusmuuntaja alentaa tai nostaa pumppua pyörittävän moottorin kierroksia, josta seuraa paineen nousu tai laskeminen. Halutut paineet esiohjelmoidaan logiikkaan, joten ne ovat helposti säädettävissä ja paineen korotus tapahtuu oikeaan aikaan.

Robottiin ohjelmoidaan jokaiselle tuotteelle ohjelma. Ohjelmassa määräytyy robotin liikeradat sekä impulssit logiikalle. Robotin avuksi laitteistoon asennetaan useita antureita, jotka auttavat robottia tunnistamaan tuotteet

#### Ohjauksen toimintaperiaate

Kun käyttäjä kerää sarjan jäysteenpoistoon meneviä tuotteita, hän syöttää tuotteet kuljettimelle. Tämän jälkeen käyttäjä valitsee ohjauspaneelista tuotteen ohjelman ja käynnistää robotin (kuva 11). Kappaleet liikkuvat kuljettimen ensimmäisen vaiheen päähän, jossa tuotteet tunnistetaan anturin avulla. Tämän jälkeen kuljetin siirtää yhden kappaleen kerrallaan kuljettimen toiseen osaan. Kuljettimen päässä on anturi, joka antaa signaalin robotille, että tuote on perillä.



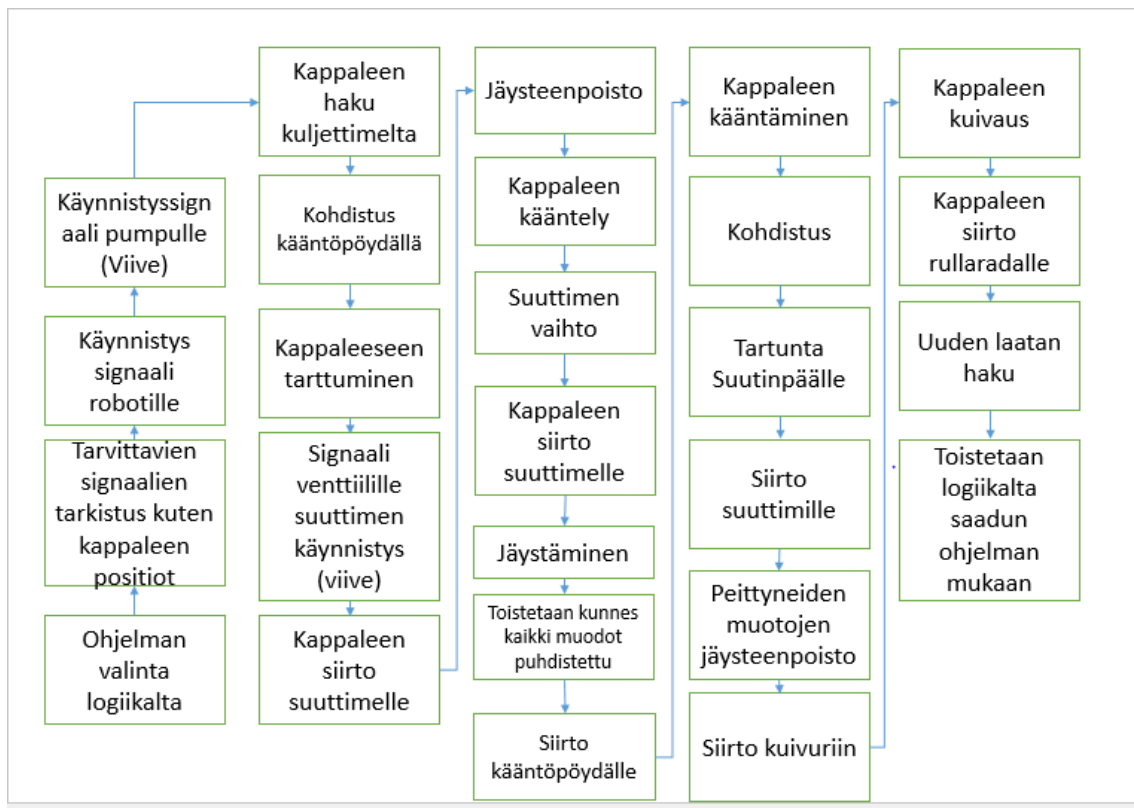
KUVA 11. Logiikan käyttöpaneeli



Seuraavaksi robotti poimii tuotteen kuljettimelta ja käy kohdistamassa kappaleen kohdistuspöydällä. Kohdistamisen jälkeen robotti lähettää impulssin logiikalle siitä, minkä suuttimen se haluaa avata. Kun logiikka saa signaalin, se sulkee ohituskiertoventtiilin ja lähettää suuttimen esiohjatulle venttiilille avauskäskyn. Vesi ohjautuu aukinaista linjaa pitkin suuttimelle. Tämän aikana robotti on vienyt kappaleen suuttimelle ja aloittaa tuotteen viimeistelyn linjan auettua. Kun kappale on käyty läpi ensimmäisellä suuttimella, robotti lähettää impulssin logiikalle. Logiikka sulkee venttiilin ja avaa seuraavan suuttimen linjan. Tämän jälkeen jäysteenpoisto jatkuu toisella suuttimella.

Kun prosessi aloittaa vahva juurisen jäysteenpoiston, logiikalta lähtee impulssi taajuusmuuntajalle, joka nostaa moottorin kierroksia ja sen myötä pumpun painetta. Tämän toiminnon avulla paine saadaan säädettyä halutulle tasolle tiettyä muotoa kohtaan, jonka jäyste ei lähde 500 baarin paineella.

Kun syötetty sarja on käyty läpi, robotti lähettää impulssin logiikalle. Logiikka lähettää avaus käskyn ohituskierron venttiilille ja sulkee suutin venttiilin, jolloin vesi alkaa kiertämään suoraa säiliölle. Tänä aikana käyttäjä voi valmistella seuraavan sarjan laitteelle ja käynnistää halutun ohjelman uudelleen. (Kuva 12.)



KUVA 12. Ohjauksen toiminta esitettynä visuaalisesti

## 11.4 Robottisolun suunnitleminen

Robottisolu pitää sisällään robotin, kuljettimen, tarttujan, kääntöpöydän sekä jäysteenpoistoaltaan. Robottisolu vaatii myös oman laittilan toimiakseen, jotta se saadaan eristettyä muusta ympäristöstä. Laittilaan tulee turvakytkimellä oleva ovi, joka estää oven avaamisen laitteen ollessa käynnissä. Kuljettimia varten tehdään aukot, jotka eristetään kumi matoilla. Matot estävät veden roiskumisen pois laittilasta. Laittilan pitää olla myös kosteus- sekä äänieristetty.

### Robotin valinta

Robottisolun suunnitleminen aloitettiin robotin valinnasta. Valintaa varten mietittiin ensiksi olosuhteet, jossa robotti toimii, kappaleen siirto etäisyydet arvioitiin sekä kappaleen massat tarkastettiin piirustuksista ja tarttujan massa arvioitiin valmistajilta saatujen tietojen avulla. Näiden perusteella voidaan normaalisti määrittää, kuinka suuri robotti tarvitaan ja kuinka paljon kuormituskykyä robotin on kestävä. Tässä tapauksessa oli myös määritettävä vesisuihkusta aiheutuva voima. Jos suuttimelta tulevaa veden aiheuttamaa törmäysvoimaa ei huomioida voidaan robotti helposti alimitoitaa, eikä robotti tule kestäämään.

Robotin käsittelemät kappaleet painavat maksimissaan 5 kg ja tarttuja painaa arviolta noin kilon. Tämän puolesta 10 kg kantokykyinen robotti riittäisi hyvin mutta veden törmäysvoiman takia 10 kg kantokyky ylittyisi. Veden aiheuttama törmäysvoima laskettiin kaavalla 1 (Wright 2013, 2).

$$Force (pounds) = 0,052 \times Pressure(PSI)^{0,5} \times flow(gpm) \quad \text{KAAVA 1}$$

Kaavalla laskettiin suuttimille voimat, jotka esitetään taulukossa 1. Nämä voimat huomioitiin robotin valintaa tehdessä.

TAULUKKO 1. Suuttimien törmäysvoimien laskeminen kaavan avulla

		Pressure (PSI)				
		7500	Diameter mm	Flowrate gpm	Impact force (pounds)	Impact force kg
Pipe cleaning nozzle			11	11,88	53,50	24,27
Orbital nozzles			1,5	7,92	35,67	16,18
			1	3,31	14,91	6,76
Insert nozzles			0,9	2,27	10,22	4,64
			1,5	6,3	28,37	12,87

Vaikka putken puhdistus suutin ylittää 20 kg rajan, pääteltiin, että paino jakautuu kappaleeseen tasapuolisesti eikä siksi rasita robottia niin paljon. Näiden tietojen perusteella saatiin selvitettyä, että tarvitaan robotti, jonka käsittelykyky on vähintään 20 kg.

Robotin ulottuvuus on oltava vähintään 1,5 metriä, jotta se pystyy toimimaan halutulla tavalla. Robotin valintaan vaikuttaa myös sen toimintaympäristö. Tässä tapauksessa robotti toimii märässä tilassa ja siksi sen suojausluokan on oltava IP 67. Kun tiedot selvitettiin, tarjouksia kysyttiin isoimmilta valmistajilta. Koska yrityksellä on ohjelmointikokemusta ABB:N roboteista, käytettäväksi robotiksi valittiin ABB:N IRB 2600. (Kuva 13.)



KUVA 13. ABB IRB 2600 Robot (IRB 2600, 2016)

## 11.5 Tarttujan suunnitleminen

Kun tarttujaa alettiin suunnittelemaan, huomattiin, että tarttuja tulee joka tapauksessa peittämään puhdistettavia muotoja. Siksi tarttujan suunnitteluun ei käytetty liikaa aikaa vaan todettiin, että kappaleiden käsittelyyn tarvitaan kääntöpöytä sekä mekaaninen tarttuja. Mekaanisia tarttuvia vertailtiin ja selvitettiin, tarvitseeko laite jokaiselle kappaleelle oman tarttujan vai voisiko se mahdollisesti toimia yhdellä. Kosteuden takia älykkäitä tarraimia ei voitu käyttää.

Mekaaninen pneumaattinen tarttuja antaa laitteelle mahdollisuuden toimia yhdellä tarttujalla. Koska kappaleiden korkeus vaihtelee vain 21 mm, voidaan kappaleen tartunta toteuttaa käyttämällä yhtä tarttujaa.

Tarttujan puristusvoiman arviointi oli tässä tapauksessa haastavaa, koska voiman pitäisi riittää pitämään kappale paikoillaan suuttimien edessä. Tarvittava voima laskettiin arvioimalla veden törmäysvoimaksi noin 150 N, tämä arvo lisättiin kappaleen massaan ja kerrottiin varmuuskertoimella 2,5. Varmuuskertoimeksi määritettiin 2,5, koska vedestä aiheutuva törmäysvoima ei ole jatkuvaa rasitusta.

Kun arvot kerrotaan yhteen, saadaan tulokseksi 248 N. Tarttujan tulee pystyä puristamaan kappaleesta 25 kg voimalla. Tarvittavan puristusvoiman sekä tarvittavan liikkeen ansiosta, pystyttiin laskemaan kuinka suuri pneumaattinen sylinteri tarvitaan tuottamaan haluttu voima. Sylinterin määrittäminen onnistui helposti käyttämällä valmista sylinterin laskuohjelmaa (kuva 14). Halutut arvot syötettiin laskuriin ja tämä antoi tarvittavat kriteerit tarttujan suunnitteluun.

**Annetut arvot**

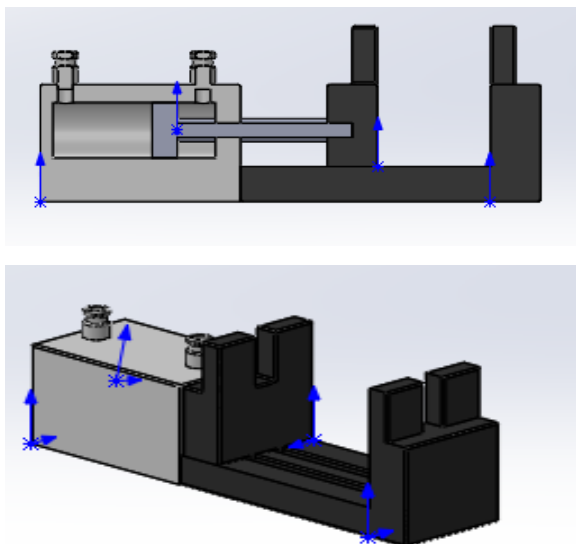
Männän halkaisija	25	mm
Varren halkaisija	10	mm
Iskun pituus	50	mm
Paine	6	bar
Virtaus	30	l/min

**Lasketut arvot**

Voima ulos	294,5243	N
Voima sisään	247,4004	N
Nopeus ulos	1,018592	m/s
Nopeus sisään	1,212609	m/s
Iskuaika ulos	0,04908737	s
Iskuaika sisään	0,04123341	s
Tilavuus männän puolella	24,54369	cm³
Tilavuus varren puolella	20,6167	cm³

KUVA 14. Sal-hydron sylinterin laskentaohjelma (Sal-hydro->laskurit->sylinterin mitoitus)

Vaikka tarvittu iskun pituus oli 21 mm, tarttuja suunniteltiin toimimaan 50 mm iskulla. Tarttujan is-  
kupituus kasvatettiin, jotta se pystyisi käsittelemään useampia tuotteita. Suunniteltu tarttuja pystyy  
käsittelemässään minimissään 30 mm leveitä tuotteita ja maksimissaan 80 mm levyisiä tuotteita  
(kuva 15). Tarttujan nopeus on säädeltävissä, jos virtausnopeutta lisää. Jos virtaus nopeuden kak-  
sinkertaistaa, iskuaika puolittuu.

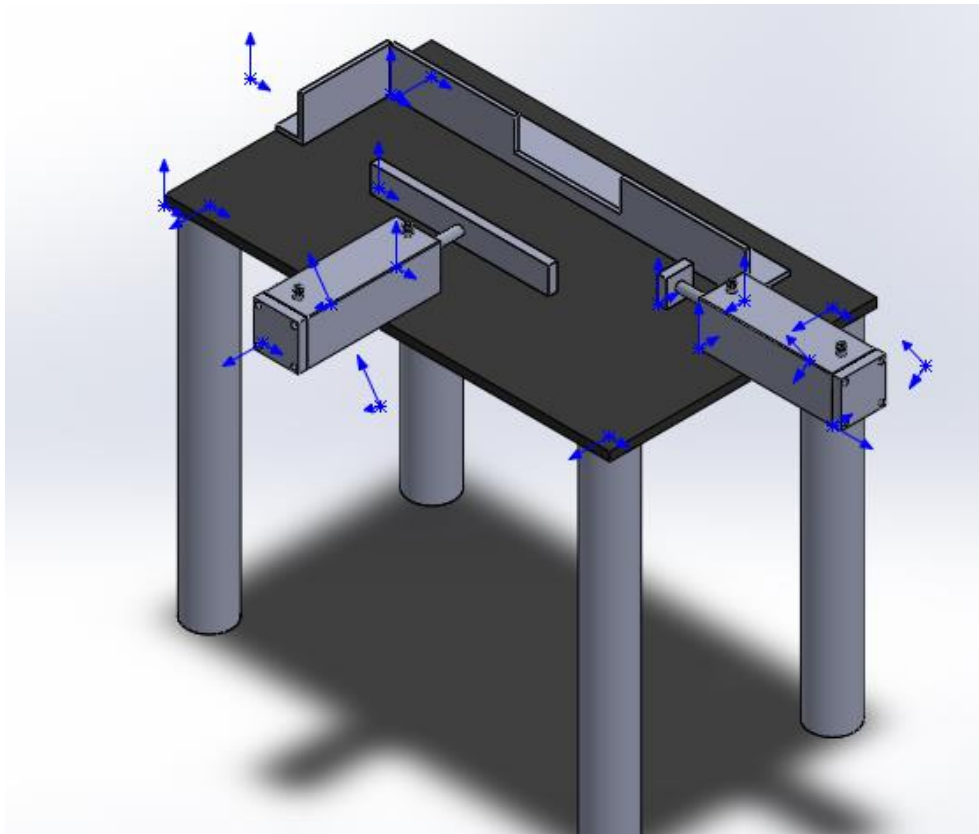


KUVA 15. Tarttujan läpileikkaus sekä 3D mallinnos

## 11.6 Kääntöpöydän suunnittelu

Kääntöpöydän tarkoituksena on antaa robotille mahdollisuus kääntää ja kohdistaa kappale. Kappaleen kääntäminen tapahtuu pöydän reunalla, minkä jälkeen robotti siirtää kappaleen paineilma sylinterien väliin. Tämän jälkeen paineilma sylinterit saavat signaalin kohdistaa kappaleen pöydällä olevia tukia vasten. Tukiin asennetaan anturit, jotta kappaleen oikea asento saadaan varmistettua.

Kääntöpöydän tärkein funktio on saada kappale paikoitettua oikeaan paikkaan, jotta robottiohjelma saadaan tehtyä tarkasti. Paikoittaminen tapahtuu käyttämällä kahta pneumaattista sylinteriä. Sylinterien päähän on asennettu työntölevyt. Työntölevyjen ansiosta kappale saadaan työnnettyä suoraan suuremmalta pinta-alalta (kuva 16).



KUVA 16. Suunniteltu kappaleen kohdistus- ja kääntöpöytä

## 11.7 Kuljettimen suunnittelu

Kuljettimen suunnittelun lähtökohta oli haastava, koska käsiteltävät tuotteet ovat erikokoisia ja kuljetin syöttää kappaleet robotille. Tilan säästämiseksi kappaleet halutaan syöttää kuljettimelle poikittainnäin ollen ne vievät vähemmän tilaa. Alun perin kuljettimen oli tarkoitus kohdistaa kappaleet toista laitaa vasten mutta kääntöpöydän avulla kappale saadaan kohdistettua tarkemmin.

Kuljettimen tulee syöttää kappale robotin läheisyyteen yksi tuote kerrallaan, joten hihna pitää toteuttaa kaksivaiheisena. Ensimmäisessä vaiheessa kappaleet siirtyvät lähellä toisiaan eteenpäin tunnistimelle, josta alkaa kuljettimen toinen vaihe. Tunnistin tunnistaa kappaleen ja syöttää kappaleen yksi kerrallaan kuljettimen päähän. Kuljettimen päässä oleva tunnistin antaa robotille signaalin, että tuote on paikallaan ja noudettavissa.

Laitteelta pois tulevana kuljettimena käytetään rullarataa. Rullarata suunnitellaan kaltevaksi, jotta tuotteet liikkuvat itsestään rullaradan päähän. Tilan riittävyydestä riippuen rullarata voidaan istuttaa hihnakuljettimen päälle.

### **11.8 Kappaleiden kuivaus**

Vaikka kappaleet ovatkin alumiinia eivätkä ne ruostu, voivat ne oksidoitua märkänä. Oksidoituminen huonontaa pinnanlaatua sekä alumiinioksidia voi irrota kappaleesta. Oksidoitumista on siis vältettävä, jotta tuotteen laatu saadaan varmistettua ja pidettynä korkeana. Tämän takia kappaleet tulisi myös kuivata viimeistelyn jälkeen.

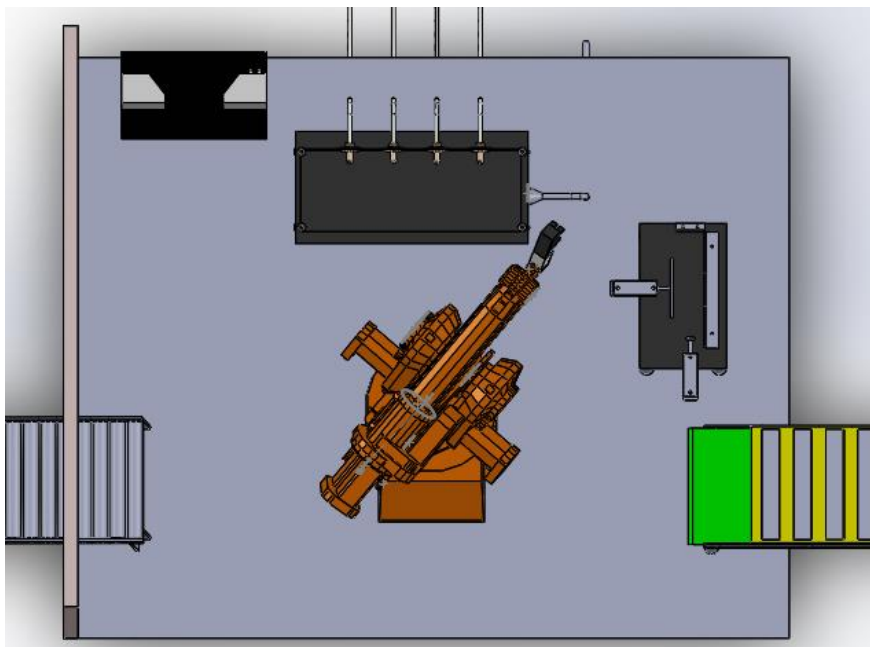
Kuivaaminen on järkevintä toteuttaa ilmaveitsien avulla. Ilmaveitset ovat helposti saatavilla olevia, suhteellisen edullisia laitteita. Ilmaveitsi toimii paineilmalla ja vahvistaa sen ottamalla mukaan ulkopuolista ilmaa ympäröivästä tilasta. Tämän avulla se saa 1 litralla paineilmaa muodostettua 40 litran ilmavirtauksen.

Ilmaveitsen mitoittamiseen käytettiin kappaleiden mittoja, koska pisin käsiteltävä kappale on 380 mm, valittiin sitä lähinnä oleva koko 457mm. Kappaleen kuivausnopeuden parantamiseksi käytetään kahta Projectan Exair-super-ilmaveitseä. Ilmaveitset sijoitetaan laitetilan kulmaan siten, että ne ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Tällä tavoin saavutetaan paras kuivaushyöty, koska ilmavirrat menevät ristiin ja kuivaavat useammasta eri suunnasta.

### **11.9 Laitetilan lay-out**

Laitetilan lay-out kuvasta näkee, miten laitteisto tulee sijoittumaan huoneeseen. Tämän avulla saadaan myös kartoitettua laitetilan koko. Laitetilaan menee kaksi kuljetinta. Toinen kuljettimista on moottorisoitu ja syöttää kappaleet laitetilaan siten, että robotti saa kappaleet käsittelyyn. Tämän kuljettimen vieressä näkyy kääntöpöytä, jossa robotti käy kohdistamassa kappaleen. Sen jälkeen robotti vie kappaleet suuttimille, pesee kappaleen ja käyttää sen kuivauksessa. Laitetilan nurkkaan

on sijoitettu kaksi ilmaveistä, joiden välissä kappale kuivataan. Tämän jälkeen robotti siirtää kappaleet rullaradalle, joka johtaa kappaleet ulos laitetilasta (kuva 17).



KUVA 17. Laitetilan lay-out



## 12 SUUNNITELTU TYÖSOLU

Viimeistely solu on suunniteltu toimimaan yhdellä operaattorilla, joka ajaa CNC-työstökoneetta sekä jäysteenpoistolaitetta yhtä aikaa. Operaattorin pitää huolehtia työstökoneen materiaalien vaihdot sekä syöttää jäysteenpoistolaitteelle puhdistettavat tuotteet. Muita operaattorille jääviä tehtäviä ovat esivalmistelu sekä visuaalinen tarkastus. Visuaalinen tarkastus on yksi laadunvarmistamisen toimenpiteistä, jonka tarkoituksena on varmistaa, että tuotteet ovat hyvälaatuisia.

Jäysteenpoistolaitteen hihnakuljettimelle pystytään syöttämään 20 kappaleen työjono, minkä takia laitteiden väliin sijoitetaan pieni puskuri varasto. CNC-kone valmistaa kahdeksan tuotetta noin tunnissa. Tämän jälkeen tuotteet vaativat arviolta 2 minuuttia esivalmistelua niiden muotojen puhdistamiseen, joihin jäysteenpoistolaite ei tehoa. Esivalmistelun aika saadaan selvitettyä Saksassa käytetyn testi-erän avulla.

Jäysteenpoistolaitteen tahtiaika on arvioitu kappaleessa olevien muotojen perusteella siten, että jokaista muotoa kohden on laskettu 10 sekuntia työstöaikaa (Bertche 2008). Tähän on lisätty 60 sekuntia robotin siirroille sekä pumpun viiveistä aiheutuvaa aikaa. Näiden tietojen avulla laitteen tahtiajaksi voidaan arvioida 7 minuuttia. Lasketut tahtiajat ovat esitetty taulukossa 2. Tahtiaikaa voidaan saada pienennettyä jos eri suuttimia pystytään käyttämään tehokkaasti yhtä aikaa.

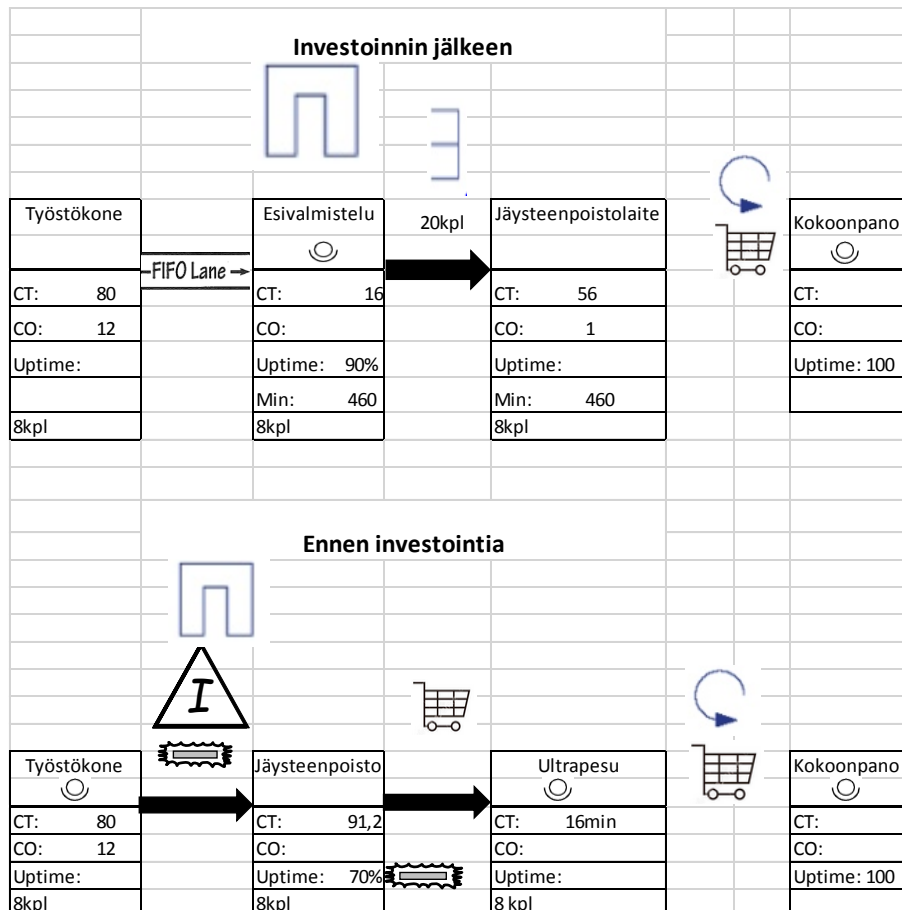
### TAULUKKO 2. Arvioidut jäysteenpoistoaajat

Arvioitu jäysteenpoistoaika

Malli	Muodot	aika/muoto	Siirtoaika	Yhteensä	
Laatta 1	45	10	60	510	s
Laatta 2	29	10	60	350	s
Laatta 3	37	10	60	430	s
Laatta 4	35	10	60	410	s
Laatta 5	35	10	60	410	s
KA				422	s
				7	min

Kuvasta 18 näkyy, miten investointi vaikuttaa kappaleiden käsittelyyn ja materiaalivirtaukseen. Investointi vapauttaa henkilö resursseja viimeistelypisteestä, koska jäysteenpoistolaite vaatii vain materiaalin syötön kuljettimelle. Tällä hetkellä henkilöresurssit on sidottu jäysteenpoistamiseen

sekä työstökoneen ajamiseen. Tämän takia jäysteenpoistopiste ei pysty työskentelemään 100-prosenttisella työpanoksella, koska osa ajasta menee työstökoneen materiaalien vaihtoon. Myös materiaalivirtaukset muuttuvat yhdensuuntaisemmiksi, koska tuotteita ei tarvitse enää siirtää ultrapesuun ja sieltä kokoonpanoon.



KUVA 18. Työstöpiste ennen investointia ja sen jälkeen

Investoinnin suurin hyöty korostuu henkilöresurssien vapautumisesta sekä ultrapesu työvaiheen poistumisesta. Laiteinvestointi tasoittaa tuotannon läpimenoaika, koska tuotteet eivät enää kasa-  
sautuisi varastoksi työstökoneen ja viimeistelypisteen väliin.

## 13 TOTEUTUSSUUNNITELMA

Toteutussuunnitelman tarkoitus on toimia ohjenuorana laitteiston tilaamiseen, asentamiseen sekä laittilan suunnitteluun. Yritys voi toimia suunnitelman pohjalta haluamansa tavalla jatkaakseen projektin läpivientiä. Toteutussuunnitelmasta ilmenee laitteiston hankinta budjetti, investoinnin kannattavuus sekä investoinnin hyödyt.

### 13.1 Budjetti

Laitteiston budjetti sisältää tarjouksia eri valmistajien komponenteista, joita laitteiston rakentamiseen vaaditaan. Valmistajien tarjoukset on kasattu yhteen Excel-tiedostoon, josta näkee mitä tarjoukseen kuuluu. Nämä tiedot saadaan syötettyä laskenta ohjelmaan, joka laskee kokonaisbudjetin laitteen rakentamiseen (liite 3).

### 13.2 Saavutetut hyödyt

Laitteiston hankkiminen nopeuttaa tuotteiden viimeistelyvaihetta sekä sen avulla yhdestä työvaiheesta päästään eroon. Ultrapesu tarpeen poisjäänti selkeyttää tuotteiden materiaalivirtaa, koska tuotteita ei tarvitse kuljettaa pesurilla ja sieltä kokoonpanoon. Tuotteiden läpimenoaika lyhenee arviolta viidellä minuutilla sekä tuotteiden laatu pysyy hyvänä ja tasaisena. Tasainen laatu vähentää asiakas reklamaatioita ja tämä alentaa laadusta aiheutuneita kustannuksia.

Korkeapainevesikäyttöinen jäysteenpoistolaitte vapauttaa laattojen valmistussolun henkilöstö resursseja tekemään tuottavampaa työtä. Koneen operaattorin tarvitsee tulevaisuudessa huolehtia CNC-koneeseen aihiot sekä laatat uuteen viimeistelylaitteeseen. Ennen laattojen viimeistelyä operaattorin pitää esivalmistella tuotteista joitain muotoja. Esivalmistelu tulee arviolta kestämään kaksi minuuttia. Investointi myös tasoittaa viimeistelypisteen kuormitusta siten, että viimeistely pysyy CNC-koneistuskeskuksen tahdissa.

Investointi myös vähentää tuotteiden laadusta johtuvia kustannuksia. Laatukustannukset muodostuvat asiakas reklamaatioista sekä toimitusvarmuuden heikkoudesta.

### 13.3 Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kannattavuus ja takaisinmaksuaika saadaan laskettua yksinkertaisella kaavalla 2. Kaavaan syötetään laitteiston hankintahinta sekä hankinnan tuotto. Koska jäysteenpoisto ei tuota

tuotteelle arvoa sen tuotto voidaan ajatella säästettyinä henkilöresursseina. Jäysteenpoistoon käytetty aika laskettiin kellotusten perusteella (liite 2). Jokaisen tuotteen jäysteenpoistoaika kerrottiin sen vuosittaisella menekillä ja nämä laskettiin yhteen. Tuloksena saatiin tarkka kustannus siitä, kuinka paljon viimeistely aiheuttaa kustannuksia vuodessa. Muita aiheutuneita kustannuksia ovat uusien työkalujen hankinta. Kustannuksista vähennettiin 25 % työntekijä kustannuksia, koska uusi laitteisto vaatii apu- sekä esivalmisteluaikaa työntekijöiltä.

$$\text{Investoinnin takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Hankintahinta (€)}}{\text{Nettotuotto } \left(\frac{\text{€}}{\text{v}}\right)} \quad \text{KAAVA 2}$$

Laitteiston hankintahinta muodostuu laitteiston hankintakustannuksista. Kustannuksiin ei ole otettu huomioon rakentamiseen käytettävää työvoima kustannuksia. Hankintahinta saatiin kokonaisbudjetista, johon lisättiin 10 % kuluja joihin kuuluvat mahdolliset lisähankinnat. (liite 3)

Saadut arvot syötettiin kaavaan ja takaisinmaksuajaksi saatiin noin kolme vuotta. Kolmen vuoden takaisinmaksuaikaa voidaan pitää hyvänä ja kannattavana investointina. Laitteistoa voidaan myös käyttää muiden tuotteiden viimeistelyyn, mitä ei ole otettu laskuissa huomioon.

### 13.4 Jatkokehitysmahdollisuudet

Laitteiston kehitysmahdollisuuksia on paljon mutta kehittämistä varten tarvitaan lisätietoa laitteiston toimivuudesta. Kapasiteetin lisääminen voisi onnistua suunnittelemalla tarraimen siten, että se pystyy käsittelemään kahta kappaletta yhtä aikaa. Tässä tapauksessa tarraimen pitäisi pystyä kääntämään kappaleet ja suuttimet olisi asennettava vastaamaan tarraimen sormien etäisyyttä. Tällä tavoin kapasiteetin kaksinkertaistaminen voisi olla mahdollinen mutta siinä pitää ottaa myös huomioon robotin käsittelykyky.

Toinen kehitysmahdollisuus olisi soveltaa laitteisto toimimaan myös terästuotteiden viimeistelyyn. Tämä mahdollisuus tulisi ottaa huomioon jo investointi vaiheessa, koska tarvittava paine on terästuotteille huomattavasti suurempi. Tarvittavan paineen pystyisi testaamaan käyttämällä teräksisiä tuotteita vesipiikkauksessa, jonka tulosten perusteella voisi tehdä päätelmiä, toimiiko vesi niiden viimeistelyssä ja kuinka suuri paine tarvitaan.

## 14 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli vesikäyttöisen jäysteenpoistomenetelmän kehittäminen Komas Oy:n Jyväskylän koneistusyksikölle. Jäysteenpoisto oli muodostunut ongelmaksi kapasiteetin lisäyksen takia. Jäysteenpoisto aiheutti laadullisia ongelmia ja pullonkaulan hydraulilaattojen valmistuksessa. Tuotteiden viimeistely ei pysynyt muun tuotannon tahdissa. Laattojen jäysteenpoisto tapahtui manuaalisesti. Manuaalinen jäysteenpoisto on hidasta ja sen laatu on riippuvainen työntekijästä.

Työntavoitteena oli kehittää menetelmä, joka käyttäisi työvoimanaan korkeapaineista vettä kappaleiden viimeistelyyn. Menetelmä perustuu vesisuihkusta aiheutuneeseen törmäysvoimaan. Törmäysvoiman suuruus määräytyy käytettävästä paineesta ja vesimäärästä. Käytännössä työssä selvitettiin, miten laitteisto toimii ja mitä komponentteja sen rakentamiseen vaaditaan.

Lisäksi työssä selvitettiin rakennuskustannukset ja investoinnin takaisinmaksuaika. Työssä selvitettiin myös, miten investointi parantaa yrityksen toimintaa. Myös menetelmän toimivuus varmistettiin järjestämällä erilaisia testejä, joilla pystyttiin varmistamaan, että vesi toimii tuotteiden viimeistelyyn.

Tärkeimmät komponentit laitteiston toiminnan kannalta ovat pumppausyksikkö ja vesihydrauliikan osa-alueet, koska vesi toimii laitteen käyttövoimana. Käytettävät suuttimet vaikuttavat viimeistelyn laatuun sekä työstönopeuteen. Oikean tyyppisen robotin valinta oli työssä haastava, koska valinnassa oli otettava huomioon veden törmäysvoima. Törmäysvoiman määrittäminen tarkasti oli hankalaa, koska voima häviää nopeasti sen osuttua kappaleeseen. Tämä ratkaistiin laskemalla suuttimelta lähtevä voima ja sen vaikutusta robottiin arvioitiin.

Työssä laskettiin käytössä olevan jäysteenpoistomenetelmän kustannukset, joita käytettiin takaisinmaksuajan laskennasta. Myös vesijäysteenpoistolaitteen tahtiaika arvioitiin käyttämällä laitevalmistajien arvioita siitä, kuinka paljon yhden muodon viimeistelyyn käytetään aikaa.

Jatkossa yritys voi jatkaa menetelmän kehittämistä suunnittelemalla käytettävät suuttimet itse, jotta laitteiston kapasiteettia saadaan nostettua. Toinen kehitysmahdollisuus on suunnitella robotin tarttuja siten, että se voi käsitellä kahta kappaletta samanaikaisesti.

Projekti oli kiinnostava ja käsitteli laajaa kokonaisuutta. Laaja kokonaisuus sekä se, ettei Suomessa ole tiedettävästi käytössä samanlaista laitetta, lisäsi toteutuksen haastavuutta. Työn taustatietojen

haku oli haastavaa ja saatavilla olevat materiaalit niukassa. Tarvittavat tiedot löytyivät laitevalmistajien esitteiden, tutkimusten kautta sekä tutustumalla vesihydrauliikkaan. Laitteisto sisälsi useita eri järjestelmiä, joiden toiminnan oppiminen projektin toteutuksen kannalta oli oleellista.

Työ edistyi hyvin suunnitelman mukaisesti ja haluttuun lopputulokseen päästiin. Yrityksellä on hyvä pohja alkaa toteuttamaan projektin lopputulos rakentamalla laitteisto. Sen jälkeen laitteisto voidaan säätää ja ohjelmoida toimimaan oikeilla parametreilla. Oikeiden parametrien löytyminen on tärkeää, jotta laite pystyy tuottamaan haluttua laatua. Parametrit löytyvät eri painealueiden ja suuttimien kokeilemisella.

## LÄHTEET

IRB 2600. 2016. ABB. Saatavissa: <http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/irb-2600>. Hakupäivä 1.5.2016.

Automaatio ja Robotiikka. 2009. Lahden ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/Robotiikka\\_yleinen.pdf](http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf). Hakupäivä 14.2.2016.

Aurich, Jan C – Dornfeld, David 2009. Burrs – Analysis, Control and Removal: Proceedings of CIRP international Conference on Burrs, University of Kaiserslautern. Springer, Germany

Bertche, Erich 2009. High pressure water deburring. Bertche Engineering. Saatavissa: <http://www.bertsche.com/high-pressure-water-deburring/>. Hakupäivä 14.2.2016.

Raspit, 10kpl. 2016. Biltema. Saatavissa: <http://www.biltema.fi/fi/Tyokalut/Hiomatarvikkeet/Multislip/Raspit-10-kpl-2000019625/> hakupäivä 15.4.2016.

Fonselius, Jaakko – Rinkinen, Jari – Vilenius, Matti 1995. Hydraulikka. Tampere: Opetushallinto.

Gillespie, Laroux, k 1999. Deburring and edge finishing handbook. USA. Society of Manufacturing Engineers.

High pressure system design guide. 2012. Cat pumps. Saatavissa: [http://www.cat-pumps.com/products/pdfs/993330A\\_CAT\\_Sys\\_Design\\_Guide.pdf](http://www.cat-pumps.com/products/pdfs/993330A_CAT_Sys_Design_Guide.pdf) hakupäivä 14.2.2016

Hitchcox, Alan 2012. Water hydraulics: Benefits and limitations. Hydraulics Pneumatics. Saatavissa: <http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicFluids/Article/False/6452/TechZone-HydraulicFluids>. Hakupäivä 8.3.2016

Hydrauliikkapumput. 2009. Metropolia. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/9.+Hydrauliikkapumput> hakupäivä 10.3.2016.

Kauranne, Heikki – Kajaste, Jyrki – Vilenius, Matti 2013. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Knapp Jamie 2007. The truth about hydro de-burring in the parts cleaner process. EzinePublisher. Saatavissa: <http://ezinearticles.com/?The-Truth-about-Hydro-De-Burring-in-the-Parts-Cleaner-Process&id=885617>. Hakupäivä 27.4.2016

Kovan työn konkarit palveluksessasi. 2013. Komatsu Oy. Saatavissa: [https://issuu.com/komatsu\\_esite/docs/komatsu\\_esite\\_20130905](https://issuu.com/komatsu_esite/docs/komatsu_esite_20130905). Hakupäivä 12.5.2016

Lehtinen Hannu 2009. Robotit. VTT. Saatavissa: <https://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Robotit.doc>. Hakupäivä 14.2.2016.

Niknam, Ali, Seyed – Zedan, Yasser – Songmene, Victor 2014. Machining, Burrs Formation & Deburring of Aluminium Alloys. Light metal Alloys Application chapter 5. Montreal Quebec: Department of Mechanical Engineering. Saatavissa: <http://www.intechopen.com/books/light-metal-alloys-applications/machining-burrs-formation-deburring-of-aluminium-alloys>. Hakupäivä 26.1.2016.

Pohls, Olli 2016. Yksikönjohtaja, Hytar Oy. Palaveri 11.3.2016

Reunanen, Tero 2011. Robotisoitu jäysteenpoisto, Panoste-projekti. 2/4. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522161949.pdf> Hakupäivä 15.1.2016.

Sylinterin mitoituksen laskentaohjelma. 2016. Salhydro. Saatavissa: <http://www.salhydro.fi/fi/sylinterin-mitoitus>. Hakupäivä 1.5.2016.

Salmela, Heikki 2015. T313003 Tuotantoautomaatio 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2015. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Sickle, Van – Flores. Charles – Gerhard, Van Sick 1997. How to pick the right Deburring Process. Society of Manufacturing Engineers. Saatavissa: <http://search.proquest.com.ezp.oamk.fi:2048/docview/219698434/D8311778B6C4879PQ/1?accountid=13030>. Hakupäivä 15.1.2016.

Thermal energy method. 2016. Kennametal. Saatavissa: <http://www.kennametal.com/en/products/precision-surface-solutions/deburring-and-machining-processes/tem-thermal-energy-machining.html>. Hakupäivä 14.2.2016.

Tolinski, Michael 2006. Deburring processes and Challenges. Society of Manufacturing engineering. Saatavissa: <http://search.proquest.com.ezp.oamk.fi:2048/docview/219710982/abstract/35839B11EEC5423DPQ/4?accountid=13030> Hakupäivä 20.1.2016.



Urac – Korkeapaineaggregaati tarjouspyyntö 22.2.2016. Laatija E.M.Leino Oy Helsinki. Tilaaja Komas Oy.

Water jetting offers new solutions. 2001. Vancouver. CMD group. Saatavissa: <http://search.proquest.com.ezp.oamk.fi:2048/docview/215179168/fulltext/744E64FFC0814743PQ/1?accountid=13030>. Hakupäivä 4.4.2016.

Wide opening parallel grippers. 2016. AVS-yhtiö. Saatavissa: [http://www.avs-yhtiot.fi/sites/default/files/pdf/6.01.05\\_CGLN.pdf](http://www.avs-yhtiot.fi/sites/default/files/pdf/6.01.05_CGLN.pdf). Hakupäivä 2.5.2016.

Wilson, Mike 2014. Implementation of Robot Systems. Butterworth-Heinemann. Saatavissa: <http://proquest.safaribooksonline.com.ezp.oamk.fi:2048/book/manufacturing/9780124047334/firstchapter#X2ludGVybmFsX0h0bWxWaWV3P3htbGlkPTk3ODAx-MjQwNDczMzQIMkZzMDA0NV9odG1sXzlmcXVlcnk9>. Hakupäivä 17.1.2016.

Wright, D 2013. Impact force of high pressure waterjets. Durango Colorado U.S.A: Stoneage Inc. Saatavissa: <http://www.wjta.org/images/wjta/Proceedings/Papers/2013/C1%20-%20DW%20Impact.pdf>. Hakupäivä 2.5.2016.

Kellotukset					
LAATTA 1			LAATTA 2		
14min 55s	895 s		9min 2s	542 s	
15min 36s	936 s		10min 24s	624 s	
16min 11s	971 s		12min 40s	760 s	
16min 42s	1002 s		9min 42	582 s	
18min	1080 s		13min 25	805 s	
18min 34s	1114 s		12min 30	750 s	
15min 57s	957 s		9min 10	550 s	
12min 12	732 s		11min 30	690 s	
10min 10	610 s		9min 13s	553 s	
9min 50	590 s		11min 45	705 s	
14min 20	860 s		13min 20s	800 s	
15min	900 s				
Yht	10647 s		Yht	7361 s	
KA	887,25 s		KA	669 s	
	14,79 min			11,15 min	
LAATTA 3			LAATTA 4		
8min 30	510 s		10min 14	614 s	
8min 49	529 s		8min 20	500 s	
10min 10	610 s		9min 42	582 s	
10min 50	650 s		7min 31	451 s	
9min 20	560 s		7min 57	477 s	
9min 14	554 s		13min 42	822 s	
12min 25	745 s		14min 11	851 s	
8min 15	495 s		8min 12	492 s	
10min 47	647 s				
Yht	5300 s		Yht	4789 s	
KA	588,9 s		KA	532,1 s	
	9,8 min			8,9 min	
LAATTA 5					
15min	900 s				
17min 12	1032 s				
16min 41	1001 s				
15min 2	902 s				
14min 32	872 s				
13min 22	802 s				
18min 39	1119 s				
Yht	6628 s				
KA	946,86 s				
	15,78 min				

Laatta	Viimeistely KA/s	Menekki	Viimeistelyaika yht	KA
LAATTA 1	887,25	2708	2402673	
LAATTA 2	669	2322	1553418	
LAATTA 3	588	5198	3056424	
LAATTA 4	532	1846	982072	
LAATTA 5	946	1080	1021680	
yht		13154	9016267	685 s
			150271	11,4 min
			2504,5	h

Viimeistelykustannukset yhteensä/vuosi	Kapasiteetti
Käytettyaika	2504,5 h
työtunti hinta	30 €/h
Kustannukset yht	75135,56 €/a
Hinta/kpl	3,76 €

Liite piilotettu toimeksiantaja yrityksen pyynnöstä